

Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН
Отделение Ядерной Физики и Астрофизики
Лаборатория Физики Солнца и Космических Лучей

Детальная информация в эксперименте
регулярного баллонного мониторинга
космических лучей в 2005–2010 гг.

Крайнев М.Б.

Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН, Москва

Гвоздевский Б.Б.

Полярный геофизический институт РАН, г. Апатиты

The Detailed Information in the Regular Balloon Monitoring of Cosmic Rays in 2005–2010

Krainev M.B

*Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia*

Gvozdevsky B.B.

*Polar Geophysical Institute, Russian Academy of Sciences,
Apatity, Murmansk region, Russia*

Abstract

The registration, data processing and analysis of the so called detailed information (DI) in the experiment of the regular balloon monitoring (RBM) of cosmic rays are discussed. The experiment is carried out since 1957 by Lebedev Physical Institute, Moscow, Russia. The detailed information (the form of each pulse detected by the ground-based receiver) is registered in RBM flights in Dolgoprudny (Moscow region) since 05.1996 and in Apatity (Murmansk region) since 10.2005. In this preprint we thoroughly describe the hard- and software package RBM_DI developed for getting DI and also the database of the RBM results including DI for the period 10.2005–10.2010, when the detailed information was recorded both in Dolgoprudny and Apatity. The results of some analysis of both detailed and standard RBM data for this period are also discussed. The prospects of the method and the tasks which are desirable but not fulfilled yet are addressed. The hard- and software developed for getting DI in the previous period 05.1996–10.2005, when the detailed information was recorded only in Dolgoprudny, is briefly listed.

Введение

Данная работа посвящена описанию некоторых деталей и результатов эксперимента по регулярному баллонному мониторингу (РБМ) космических лучей (КЛ) в земной атмосфере, проводимого ФИАН им. П.Н. Лебедева с 1957 г. Методика проведения эксперимента хорошо известна [1, 3, 18], его основные результаты до 2007 г. опубликованы [19] и используются при анализе модуляции солнечной активностью интенсивности галактических космических лучей (ГКЛ), возрастаний солнечных космических лучей, высыпаний релятивистских электронов из радиационных поясов, а также радиационного загрязнения атмосферы и влияния ионизирующей радиации на процессы в атмосфере и т. д.

Однако помимо основных данных (мы будем называть их совокупность стандартной информацией (СИ) эксперимента РБМ), в течение последних 12-14 лет во время полётов шаров-зондов регулярно регистрируется более подробная т. н. детальная информация (ДИ), которая включает в себя СИ и несёт некоторую дополнительную полезную информацию о работе зонда и о поле ионизирующего излучения в атмосфере. Подчеркнём, что эта работа носит чисто инициативный характер, т. е. на неё не выделяются средства из основных источников финансирования эксперимента, она не отражена в основных публикациях об эксперименте РБМ и на посвящённом ему сайте [20], её результаты не используются при стандартной обработке. Конечно, эта работа не могла бы проводиться в течение столь долгого времени, если бы дополнительный труд регистрации ДИ не взяли на себя операторы приёма данных РБМ.

Задачи, которые ставились при регистрации в эксперименте РБМ детальной информации, методика её получения и некоторые результаты, полученные при её анализе, опубликованы в работах [7, 9, 11, 12, 6, 13, 14]. Однако совокупность ДИ, полученной за более чем 12 лет измерений, а также используемые для её регистрации аппаратура и программы, естественно, отличающиеся в разные годы этого периода, не описаны. В данной работе подробно обсуждается эта информация для интервала времени с середины октября 2005 г. по октябрь 2010 г., когда ДИ регистрировалась практически

во всех полётах как в г. Долгопрудном Московской области, так и в г. Апатиты Мурманской области (всего 1488 полётов). В этот период, благодаря грантам РФФИ (05-02-17346, 08-02-00418), проводилась активная работа по модернизации аппаратуры и программного обеспечения для регистрации ДИ в обоих пунктах, а также по созданию удобной для анализа базы данных и по первоначальному анализу ДИ. На данных этого периода отлаживается методика создания базы данных ДИ, её обработки и анализа, которая в будущем будет применена к данным первого периода регистрации ДИ (май 1996 - середина октября 2005 гг.; 1170 полётов в Долгопрудном). Регистрация и обработка ДИ в первый период также кратко обсуждаются в данной работе. Такое изложение материалов (подробное описание последних разработок и данных и краткое — относящихся к предыдущему периоду) связано также с тем, что возможна ситуация, что кто-либо проявит желание сделать разработанный нами пакет аппаратуры и программного обеспечения основным при приёме и регистрации данных РБМ. Поскольку это потребует, возможно, определённой модификации разработанного нами аппаратно-программного пакета (RBM_DI), необходимо иметь подробное описание именно последних разработанных нами версий пакета.

Раздел 1 данного препринта посвящен краткому описанию эксперимента РБМ и получению и обработке стандартной информации. Кроме того, в этом разделе мы кратко опишем некоторые другие работы по модернизации обработки первичных данных эксперимента РБМ, проводившиеся нашей группой до и в первый период регистрации ДИ, поскольку это позволит понять некоторые особенности принятых при регистрации и обработке ДИ решений. Раздел 2 посвящен регистрации, обработке и форматам файлов ДИ с кратким описанием первых этапов (до октября 2005 г.) и более подробным — аппаратных и программных решений, принятых при модернизации процедуры регистрации и обработки ДИ в 2005–2010 гг. База данных ДИ за 10/2005–10/2010 описана в разделе 3, а в разделе 4 кратко иллюстрируются некоторые результаты анализа этих данных, а также стандартной информации, качества данных и их обработки. Раздел 5 посвящён некоторым аспектам проведения эксперимента РБМ, регистрации в нём данных и их обработки, очень желательным, но пока не осуществлённым.

Наконец, в разделе 6 сформулированы выводы работы.

1 Эксперимент РБМ и стандартная информация

1.1 Схема проведения эксперимента и основная терминология

В эксперименте РБМ регулярно в нескольких пунктах определяются скорости счета стандартных детекторов излучения как функции количества вещества над прибором. С начала 1990-х годов измерения проводятся три раза в неделю в г. Апатиты Мурманской области, в г. Долгопрудном Московской области и в обс. Мирный, Антарктида. Осуществляется РБМ путем подъема *зонда*, представляющего собой наполненную легким газом оболочку (шар) с закрепленным на подвязке *прибором*, на высоту порядка 30 км. После этого оболочка лопаается, прибор падает и, как правило, теряется. В состав прибора входят: *детектор КЛ*, состоящий из верхнего и нижнего гейгеровских *счетчиков* с фильтром между ними; *бародатчик* с контактами; электронная *плата* с логической схемой, *радиопередатчиком* и *антенной*; электрическая *батарея* и содержащая все перечисленное (кроме антенны) пенопластовая коробка, завернутая в полиэтилен. Ниже мы схематично опишем стадии эксперимента и основные узлы прибора с введением характеристик и переменных, которые окажутся нам полезны при описании ДИ и её обработки. Схема проведения эксперимента приведена на Рис. 1.

Полёт. Шар поднимает прибор (device) с переменной вертикальной скоростью $V_v^d \approx 300$ м/мин. В горизонтальной плоскости шар переносится вместе с окружающим воздухом со скоростью V_h^d , величина и направление которой зависят от многих факторов, так что в течение полета, длящегося примерно 1.5-2.5 часа, зонд может или оказаться за сотню километров от точки выпуска, или „висеть над головой“. При этом „вертикальная“ ось прибора Z^d ориентирована приблизительно вдоль подвески — ленты длиной $L^d \approx 10$ м, соединяющей прибор с шаром. На этой подвеске прибор может колебаться относительно истинной вертикали Z (т. е. направления в зенит) с периодом, близким к периоду свободных колебаний маятника $T^d \approx 6$ с. Кроме того, прибор совершает колебания при закручивании и раскручивании

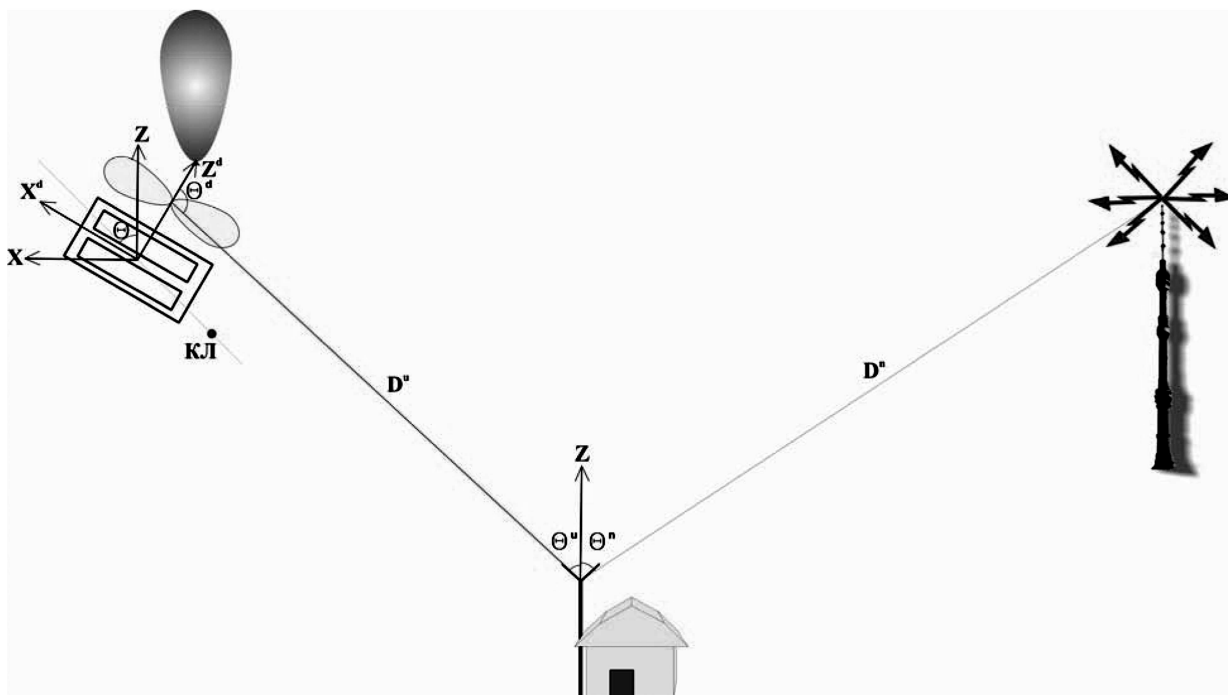


Рис. 1: *Схема эксперимента РБМ.*

подвески, а значит, вокруг истинной вертикали колеблется и вращается и параллельная осям счетчиков ось X^d .

Детектор КЛ. Стандартный узел детекторов КЛ включает счетчик Гейгера и „вертикальный“ телескоп, состоящий из двух таких счетчиков с фильтром ($2 \text{ г/см}^2 \text{ Al}$) между ними. Рабочее напряжение на каждом счетчике таково, что счетчик срабатывает уже при образовании одной пары ионов в рабочем объеме, т. е., фактически, от каждой заряженной частицы с энергией, достаточной для прохождения стенки счетчика (0.05 г/см^2). Таким образом, верхний всенаправленный или „одионый“ счётчик откликается на заряженные частицы, движущиеся в любом направлении и имеющие энергию 5 МэВ для протонов и 0.2 МэВ для электронов, а телескоп - на заряженные частицы, движущиеся в телесном угле ≈ 1 стерадиан вокруг „вертикальной“ оси и имеющие энергию (30 МэВ для протонов и 5 МэВ для электронов), достаточную для прохождения фильтра и трёх стенок счетчика (2.15 г/см^2). На Рис. 1 показана траектория такой заряженной частицы, проходящей через оба счётчика по направлению θ, ϕ .

Бародатчик РБМ представляет собой анероидную коробочку с прикреплённой к подвижной стенке стрелкой, движущейся по пластине

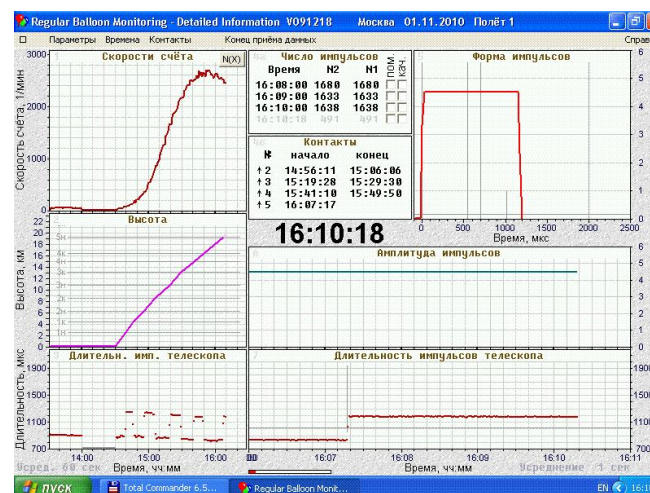
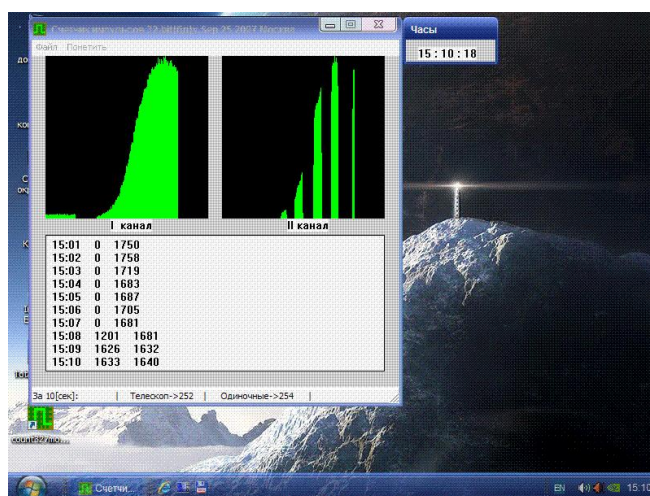


Рис. 2: Три метода регистрации данных в эксперименте РБМ: верхняя панель — стандартный (показаны радиоприёмник, стоящий на нём селектор и осциллограф справа), средняя — основной (главный экран программы СЧЁТЧИК) и нижняя — регистрация ДИ (главный экран программы RBM-DI).

с вытравленными полосками контактов (обычно 7). При нахождении стрелки на контакте длительность импульсов, формируемых генератором (см. ниже), увеличивается по сравнению с их длительностью, когда стрелка находится между контактами. Значения давления, соответствующие замыканию и размыканию k -ого контакта бародатчика (начала P_b^k и конца P_e^k), известны из предполетной градуировки бародатчиков.

Логическая схема и радиопередатчик с антенной. Логическая схема зонда посылает на радиопередатчик запускающие его импульсы: длительности $\tau = \tau_1 \approx 800$ мкс при каждом втором (с 1981 г.; до этого — при каждом) срабатывании верхнего счетчика без срабатывания телескопа и $\tau = \tau_2 \approx 1400$ мкс или $\tau'_2 \approx 1600$ мкс — при каждом втором одновременном срабатывании обоих счетчиков. Импульс с $\tau = \tau_2$ формируется в случае расположения стрелки бародатчика между контактами, а с $\tau = \tau'_2$ — на контакте. Радиопередатчик (transmitter) генерирует цуги электромагнитных колебаний с частотой $f^t \approx 110$ МГц и длительностью, равной длительности запускающего импульса. Антенна, ориентированная вдоль подвески, излучает в пространство эти радиоволны с амплитудой U_m^t , сильно зависящей от угла θ^d между осью антенны (Z^d) и направлением излучения. Отметим, что диаграмма направленности передатчика $U_m^t(\theta^d)$ не зависит от азимутального угла ϕ^d направления излучения в системе координат прибора (а, значит, и от угла закрутки подвески). Другими словами, в излученных антенной цугах радиоволн присутствует информация об ориентации оси Z^d зонда относительно истинной вертикали, но не об ориентации оси X^d .

Приём информации. На уровне земли на приемную антенну на частоте f^r , на которую настроен приемник (receiver), поступают от зонда полезные (useful) импульсы с длительностью τ^u и амплитудой U_m^u , искаженными как расстоянием D^u до зонда ($U_m^u \propto U_m^t/D^u$) и возможным расхождением между f^t и f^r , так и неизотропной диаграммой направленности приемной антенны, зависящей от зенитного угла θ^u направления прихода сигнала от зонда. Кроме того, поступают также посторонние помехи (noise) на несущей частоте f^r (например, от телепередатчика, находящегося на расстоянии D^n), в которых закодированы импульсы амплитуды U_m^n и длительности τ^n . Оператор приёма систематически подстраивает приёмную частоту и коэффициент усиления

K^r приёмника для поддержания стандартных условий приёма (амплитуда усиленного регистрируемого (recorded) импульса $U_m^{rec} = K^r \cdot U_m^u \approx 4.5$ В).

Выделение и регистрация информации. После декодирования радиоволн приемником полезные импульсы и импульсы помех обрабатываются и считаются одновременно тремя различными методами, иллюстрированными на Рис. 2. Один и тот же сигнал с низкочастотного выхода приёмника поступает параллельно:

1. В стандартном методе (с 1957 г. по настоящее время; верхняя панель Рис. 2) — на аналоговый *селектор* импульсов по длительности, который определяет и выводит на индикатор отдельно число N_1 принятых в минуту импульсов с длительностью $\tau > \tau_1^{th}$ ($\tau_1^{th} < \tau_1$) и число N_2 принятых в минуту импульсов с $\tau > \tau_2^{th}$ ($\tau_1 < \tau_2^{th} < \tau_2$). При этом анализируются лишь импульсы, амплитуда которых U_m^{rec} превышает некоторый порог, $U_m^{rec} > U_m^{th} \approx 0.6$ В. Оператор каждую минуту переписывает на бланк протокола индцированные селектором скорости счёта N_1 и N_2 , а также с помощью осциллографа на глаз определяет и записывает на бланк моменты отметок давления (pressure marks) t_i^{pm} и t_{i+1}^{pm} ($i = 1, \dots, 28$) перехода длительности „длинных“ импульсов от τ_2 к τ_2' и обратно как начала (t_b^k) и конца (t_e^k) k -ого контакта прямого и обратного хода.
2. С 2003 г. — на вход звуковой карты персонального компьютера (ПК1; средняя панель Рис. 2). С помощью программы **СЧЁТЧИК** импульсы оцифровываются, определяются мгновенный порог по амплитуде и длительность импульсов, и накопленные за каждые 10 секунд числа импульсов n_1 и n_2 после окончания полёта фиксируются в файле на диске. Моменты отметок давления по-прежнему определяются по аналоговому осциллографу. В процессе полёта на экран монитора ПК1 выводится некоторая минимальная информация (численные значения и графики минутных значений $N_1(t)$ и $N_2(t)$). В настоящее время этот метод регистрации данных РБМ является основным, а описанный в первом пункте - вспомогательным. С 2006 г. в obs. Мирный данные регистрируются только основным способом.

3. Начиная с некоторого времени, в некоторых пунктах (см. ниже) - на вход платы аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) другого персонального компьютера (ПК2; нижняя панель Рис. 2). С помощью специальной программы импульсы оцифровываются (с интервалом между *отсчётами* Δt_{DI} , равным, обычно, 25 мкс) и тут же форма j -го импульса (т. е. непрерывная последовательность отсчётов U_i , $i = 1, 2, \dots, n_j$ с $U_i \geq U_{th}^{DI}$, где $U_{th}^{DI} = 0.16$ В — задаваемый порог регистрации по амплитуде) фиксируется на диске. Эта форма каждого импульса, зарегистрированного во время полёта, и составляет детальную информацию эксперимента РБМ. Одновременно по простому алгоритму автоматически определяются моменты отметок давления. Вместе с многой другой информацией форма импульсов отображается на экране монитора ПК2.

Отметим, что в числа импульсов $N_{1,2}$, определённые по стандартному и основному методам, входят как полезные импульсы, поступившие с зонда, так и импульсы помех, длительность и амплитуда которых превышают пороги регистрации.

На стадии послеполётной обработки определяется давление $P(t)$ окружающего прибор воздуха в каждый момент полета (путем интерполяции высоты в т. н. стандартной атмосфере между последовательными моментами отметок давления t_i^{pm} и t_{i+1}^{pm} , при $t_i^{pm} < t < t_{i+1}^{pm}$, или экстраполяции после последней отметкой прямого хода или до первой — обратного). В предположении статического равновесия атмосферы (а именно, что давление на высоте H уравнивает вес расположенного выше столба воздуха единичного сечения) можно каждому моменту t полета сопоставить количество вещества остаточной атмосферы над прибором в вертикальном столбе воздуха единичного сечения $X(t)$.

Таким образом в эксперименте РБМ за каждую минуту полета регистрируется следующая стандартная информация:

1. Количество вещества остаточной атмосферы X ;
2. Число N_1 , в которое, наряду с возможными помехами, входит число частиц, пересекших верхний счетчик в любом направлении за эту

минуту и имеющих энергию, достаточную для прохождения одной стенки счетчика (т. е. пробег которых больше 0.05 г/см^2);

3. Число N_2 , в которое, наряду с возможными помехами, входит число частиц, пересекших за эту минуту оба счетчика и фильтр и обладающих энергией, достаточной для прохождения трех стенок счетчика и фильтра (2.15 г/см^2).

Избавляясь от времени как от параметра, получаем искомые зависимости („кривые поглощения“) $\tilde{N}_{1,2}(X) = 2 \cdot \alpha_{1,2} \cdot N_{1,2}(X)$ для отдельного полёта, где 2 — коэффициент пересчёта (с 1981 г.), $\alpha_{1,2}$ — поправки использованных в этом полёте верхнего счётчика и телескопа на эффективность регистрации, геометрические размеры и т. д., приводящие эти конкретные детекторы КЛ к некоторым стандартным. Эти поправки, делающие временные ряды $\tilde{N}_{1,2}(X, t)$ однородными за более чем 50 лет наблюдений, определяются на стадии предполётной градуировки детекторов КЛ. Объединяя кривые поглощения для отдельных полётов за месяц, полгода, год, получают соответствующие средние зависимости за указанные периоды. Кроме того, для каждого полёта определяются скорости счёта $\tilde{N}_{1,2}^{Max}$ и количество вещества $X_{1,2}^{Max}$ в максимумах кривых поглощения и соответствующие среднемесячные, среднегодовые и т. д. значения.

На Рис. 3 и 4 изображены среднемесячные кривые поглощения $\tilde{N}_1(X)$, соответственно, в Апатитах и Долгопрудном в самом глубоком минимуме интенсивности галактических космических лучей (май 1991 г.) и самом высоком максимуме интенсивности (июль 2009 г.), а также в начале периода регистрации ДИ в обоих пунктах (октябрь 2005 г.). Показаны также положение максимума кривой поглощения X_1^{Max} и характерные границы диапазонов X , которые будут полезны при обсуждении качества стратосферных данных в разделе 4.2:

- X_{GS} — количество вещества, когда достигается скорость счёта одиночного счётчика $N_1 \approx 8$ имп/сек, выше которой возможно отбрасывание усреднённых за секунду данных на основании статистических критериев (см. [13]). Зонд, не долетевший до такой высоты, с точки зрения исследования ГКЛ, безусловно, „выброшен на ветер“.

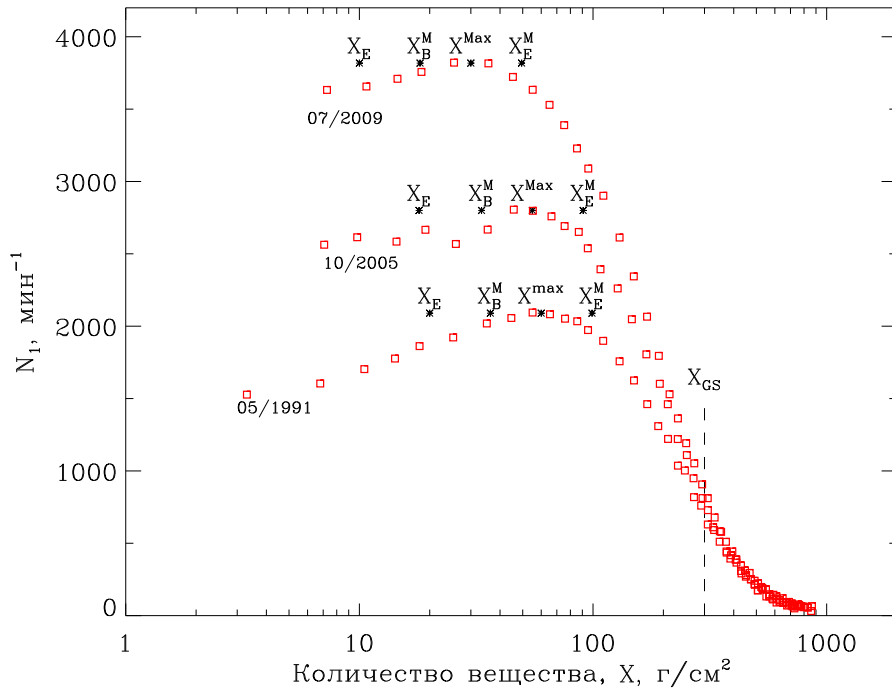


Рис. 3: Среднемесячные кривые поглощения для одиночного счетчика в периоды экстремумов солнечной активности и в начале периода 10/2005-2010 гг. в Апатитах. Показаны также характеристические значения X (см. текст).

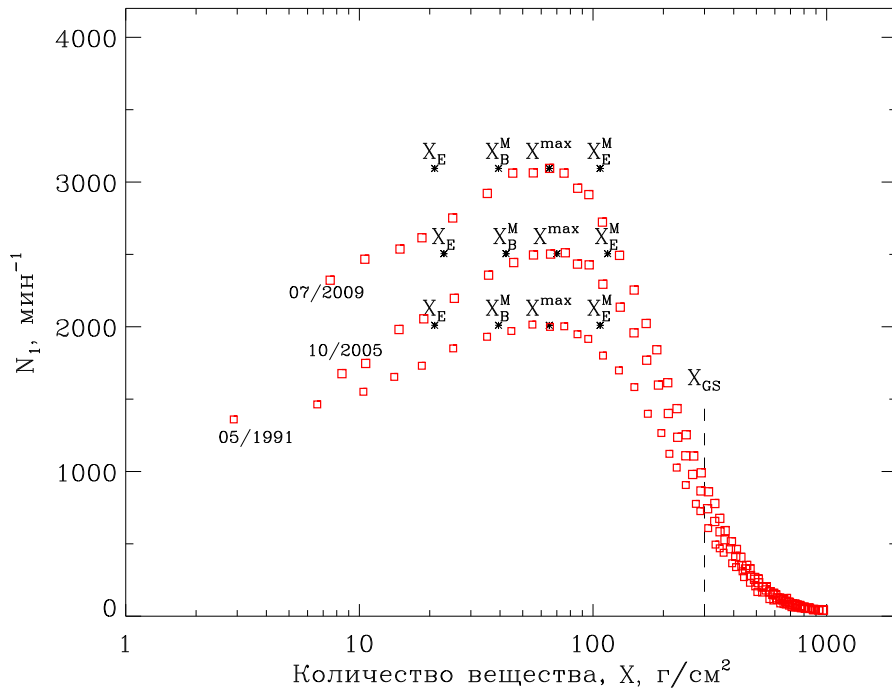


Рис. 4: То же, что на Рис. 3, но в Долгопрудном.

- X_B^M и X_E^M — левая и правая границы диапазона количества вещества X , в котором находится максимум кривой поглощения. Для зонда, поднявшегося в полёте до высоты $H(X_F)$ с $X_B^M < X_F < X_E^M$, возможно определение характеристик максимума кривой поглощения.
- X_E — такое количество вещества над прибором, что при достижении зондом высоты $H(X_F)$ с $X_F < X_E$ возможна более-менее надёжная экстраполяция кривой поглощения к границе атмосферы ($X = 0$).

Для определённости здесь и далее положено $X_{GS} \approx 300$ г/см² (глубина, где $N_1(X_{GS}) \approx 8$ мин⁻¹), $X_E^M = X^{Max} \cdot 1.65$, $X_B^M = X^{Max}/1.65$, $X_E = X^{Max}/3.0$. Видно, что в течение цикла солнечной активности (и в течение 5-ти летнего периода 2005–2010 гг.) положение максимума кривой поглощения и связанных с ним характеристических границ интервалов X для Апатит существенно изменяется ($\approx$ в 2 раза), а для Долгопрудного - меняется слабо.

1.2 О модернизации стандартной обработки данных РБМ

Как уже сказано во Введении, чтобы понять некоторые особенности принятых при регистрации и обработке ДИ решений, надо кратко рассказать о методике стандартной обработки первичных данных РБМ, тем более что эта методика была существенно модернизирована нашей группой в 1985-2002 гг., хотя и не все из наших разработок были взяты руководством эксперимента на вооружение.

Методика обработки стандартных данных РБМ до 1985 г. описана в [3, 17], а также в [10]. В течение 1985–1995 гг. постепенно перешли на обработку под управлением пакета программ системы автоматической системы обработки данных (АСОД) РБМ [10, 8], основным в которой является то, что:

1. Вся стандартная информация полёта сведена в т. н. стандартный файл протоколов (с расширением spr), содержащий идентификаторы прибора и оператора, результаты предполётной градуировки детекторов КЛ и бародатчика, минутные значения скоростей счёта $N_{1,2}$, моменты основных событий.

2. Основная программа пакета (BAPTISM) визуализирует данные в различных представлениях и даёт научному сотруднику (НС) возможность преобразовывать и обрабатывать данные, необходимые для получения главных результатов РБМ: зависимостей скорректированных скоростей счёта детекторов от количества вещества над прибором и характеристик максимумов кривых поглощения. Название программы (BAPTISM — „крещение“) связано с тем, что раньше в процессе этой работы НС вычёркивал („открещивал“) данные на бланке первичной обработки, а затем ставил на бланке крест. Поэтому же мы иногда будем называть НС „крестителем“, а сам процесс — „крещением“. При этом НС принимает некоторые решения (об отбрасывании из последующего анализа некоторых минутных данных и отметок давления, об интервалах максимума высотных кривых поглощения и т. д.), которые записываются в файл замечаний НС (с расширением not).
3. Совокупность spr- и not-файлов для всех полётов месяца обрабатывается другими программами пакета с получением зависимостей $\tilde{N}_{1,2}(X)$ как для отдельных полётов, так и среднемесячных и т. д., а также характеристик максимумов кривых поглощения. Эти данные располагаются в текстовых файлах с расширениями trt, mon, max.

Таким образом, вся информация была разделена на объективную (в файле spr) и субъективную (в not-файле). Конечно, основным недостатком этой методики был (и остаётся) субъективный характер принимаемых НС решений. Ниже (в разделе 4.2) мы обсудим, насколько разные решения, важные для результатов РБМ, принимают разные НС.

В начальный период работы системы (1985–1991 гг.), когда на ДНС ещё не появились персональные компьютеры, работа велась под управлением пакета программ на ФОРТРАНе, описанного в [10]. Spr-файлы набивались операторами вручную с рукописных бланков протоколов, а not-файлы — с т. н. бланков обработки с замечаниями НС. В 1990–1991 гг. на ДНС появились ПК и одновременно поступил на работу студент-вечерник МИФИ Корольков Д.Н., который быстро адаптировал систему для работы на ПК, так что not-файл стал образовываться автоматически и были визуализированы многие

полезные для принятия решений зависимости. Эта новая версия системы обработки результатов РБМ (**STRATOS-95**), на которую окончательно перешли в 1995 г., написана на ПАСКАЛе и С++ и описана в [8].

Большим недостатком системы обработки АСОД было (и остаётся) то, что практически все характеристики прибора вводились для проведения разных работ вручную с различных бланков, т. е. не существовало единой базы в электронном виде всех характеристик всех приборов, результатов полётов и пред- и послеполётной обработки. Инструмент для создания как раз такой базы данных и управления ею (СУБД **STRAT_CL**) был разработан в 1998–2001 гг. инженером В.М. Кибардиным, работавшим на Долгопрудненской научной станции ФИАН (ДНС) совместителем в 1998–2002 гг. Пакет **STRAT_CL** состоял из двух пакетов: для работы по приёму данных РБМ на точках (**STRAT_L**) и для ведения работ по подготовке приборов, их градуировки и послеполётной обработки результатов в центре (**STRAT_C**). В эти же годы для более простой и корректной работы по ручному вводу первичных данных был разработан пакет **STRATDATA** (Кибардин В.М., Крайнев М.Б., 2000). Был также разработан и апробирован пакет **SAPPHIRE** для автоматизации процесса градуировки бародатчиков на цифровом манометре (Корольков Д.Н., Крайнев М.Б., 1998).

Правда, все эти разработки руководством эксперимента использованы не были (кроме пакета **STRATOS-95**, по которому до сих пор ведётся обработка всей стандартной информации РБМ).

2 Получение детальной информации в эксперименте РБМ

2.1 Регистрация ДИ до октября 2005 г.

К 1995 г. внутри команды, проводящей РБМ, сложилась небольшая группа специалистов, достаточно опытных в работе с данными эксперимента, знающих не только плюсы, но и минусы существующего способа регистрации этих данных и в то же время обладающих необходимыми знаниями и навыками, чтобы улучшить указанный способ. Как часть задания на

дипломную работу Д.Н. Королькова была поставлена задача разработать такой способ обработки поступающего сигнала, который бы позволил регистрировать большее количество информации при минимальном влиянии субъективных факторов. Регистрируемая информация должна была обеспечивать возможность анализа амплитуды импульсов, их длительности и скорости счета за произвольный промежуток времени.

В 1995–06/1996 гг. были приняты основные аппаратные и программные решения и разработан комплекс, с помощью которого принята детальная информация в трёх полётах. Был организован параллельный вывод аналогового сигнала с выхода низкочастотного канала приёмника на ПК и оцифровка этого сигнала, причём эта оцифровка могла осуществляться как на ПК2, находящемся рядом с селектором на приёмном пункте (финский домик №3 ДНС), так и (одновременно) на удалённом ПК в главном корпусе ДНС (подвешенным кабелем длиной около 100 м.). Был использован ПК с внутренней платой L-154 фирмы L-card, оснащённой 12-разрядным АЦП, TTL-входом и таймером. Программа, управляющая оцифровкой аналоговой информации и регистрацией цифровой формы импульсов на диске, была написана на языке СИ++ под операционную систему DOS. Программа работала автономно (т. е. не обращалась ни к каким внешним данным, кроме импульса с выхода приёмника, и в неё нельзя было ничего вводить) и не осуществляла какой-либо визуализации полёта (т. е. в процессе полёта зонда на экран ПК ничего не выводилось), т. к. тактовая частота ПК была невелика, и главное было — зарегистрировать ДИ по возможности без пропусков. С другой стороны, большое внимание уделялось сравнению со стандартной информацией, определяемой селектором, а значит, привязке времени АЦП к внутренним часам селектора. Для этого была организована генерация селектором т. н. „минутных“ импульсов длительностью $\tau_{min} = 200$ мкс в начале каждой минуты в некоторые интервалы времени до и после полёта. Обработка ДИ, относящейся к этим импульсам, и позволяла перейти от времени АЦП к времени селектора. Мы рассматриваем программу, подготовленную в этот период, а также несколько последующих как разные версии программы RECASS (RECOder-ASSEMBler), т. к. в них совмещались функции записи ДИ и формирования результатов.

В начальный период (05/1996–07/1998) ДИ записывалась на IBM-совместимом ПК с процессором Intel-286 (тактовая частота 12 МГц) на жесткий диск, причем особенностью автономной программы RECASS01 (Д.Н. Корольков; без визуализации, ввода команд оператора и создания файла СИ; синхронизация с временем селектора путем записи минутных импульсов с селектора) было наличие мертвого времени, т. е. регистрация ДИ прерывалась на время записи на диск. Более подробно эти исходные решения описаны в дипломной работе Д.Н. Королькова [7] (защищена в МИФИ в 06/1996). В этот более чем 2-х летний период была записана ДИ всего в 59 полетов, т. к. эту программу должен был запускать и следить за её работой дополнительный оператор (чаще всего — сам Д.Н. Корольков или кто-либо из инженеров).

В следующий период (08/1998–10/1999) ДИ записывалась автономной программой RECASS02 (Д.Н. Корольков; тоже без визуализации, ввода команд оператора и создания файла СИ; синхронизация с временем селектора путем записи минутных импульсов с селектора) на ПК с процессором Intel-486 (тактовая частота 133 МГц) на электронный диск без мертвого времени, т. е. регистрация ДИ велась непрерывно. Кроме того, в течение нескольких месяцев 1999 г. предпринимались попытки выяснить причину небольшого систематического превышения скоростей счета детекторов РБМ, определенных с помощью селектора, над соответствующими скоростями, следующими из зарегистрированной ДИ (программы RECASS03-05). При этом, кроме формы импульса с низкочастотного выход приёмника, регистрировались также импульсы TTL, генерируемые в селекторе при регистрации им импульсов с приёмника. Всего в этот период записана ДИ в 124 полетах. С 02/1999 функцию ведения приёма ДИ (одновременно с регистрацией данных стандартным методом) взял на себя оператор (В.В. Иванов), и ДИ записывалась практически для всех полётов РБМ в г. Долгопрудном.

В период 10/1999–10/2002 ДИ записывалась автономной программой RECASS06, разработанной Д.Н. Корольковым и С.В. Быстровым (студент МФТИ, прекратил работать в октябре 2000 г.): с визуализацией, вводом в текстовое окно моментов отметок давления, без ввода параметров и создания файла СИ; на том же ПК2 с процессором Intel-486 на электронный диск без

мертвого времени. Всего записана ДИ для 497 полетов.

В начале 2002 г. основной разработчик программ RECASS Д.Н. Корольков уволился, и с этого времени всю программную работу выполнял В.М. Кибардин. Он тщательно переработал программу, разделил её на программы RECORD, реализующую визуализацию хода полета и регистрацию первичных данных РБМ, и ASSEMBLE, осуществляющую сборку из первичных данных предварительных результатов эксперимента, и включил их в работу под управлением СУБД РБМ, разработанной им же в 1998–2002 гг. (пакет STRAT_L). В конце 2002 г. В.М. Кибардин неожиданно был уволен. Уже после увольнения он к марту 2003 г. доработал пакет RECORD-ASSEMBLE. В 03/2003–10/2005 никакой модернизации программ не осуществлялось, но регистрация ДИ проводилась практически для всех полётов РБМ в Долгопрудном. Всего в этот период (10/2002–10/2005) ДИ записана в 490 полётах.

2.2 Формат, первичная обработка и анализ ДИ до октября 2005 г.

На протяжении всего периода 05/1996–10/2005 формат файлов ДИ практически не изменялся. Стандартный файл, вмещающий ДИ одного полёта, имеет расширение 154 и кроме первых двух чисел, произведение которых задаёт период оцифровки (в мкс), содержит только последовательность значений напряжения (отсчётов), объединённых в импульсы. Кроме стандартного формата файла ДИ (с расширением 154), в некотором количестве полётов ДИ записывалась в нестандартные файлы (программами RECASS03-05; расширения файлов результатов 155 и 156), содержащие в дополнение к ДИ информацию о моментах регистрации импульсов селектором. Пакетом программ RECORD-ASSEMBLE помимо собственно ДИ с тем же расширением 154 создаются текстовые файлы, содержащие вводимые оператором характеристики прибора, а также результаты полёта (моменты событий: старта, начала хороших данных, отметок давления и т. д.). Средний объём zip-архивированного файла со всеми данными одного полёта ≈ 4.5 Мб. Общее количество таких файлов за 1996–10/2005 равно 1170.

Для просмотра файлов ДИ в различных аспектах (временной ход

скоростей счёта детекторов космических лучей в любых диапазонах длительности импульсов и с любым временным разрешением; форма любых групп импульсов, их распределение по длительностям и т. д.) была разработана очень удобная программа PULSE (В.М. Кибардин, 1997 г.), которая используется до сих пор. С помощью этой программы для каждого полёта создаются текстовые файлы с характеристиками прибора и моментами основных событий, ДИ каждого полёта регулярно просматривается и её особенности описываются в рукописном журнале. Эпизодически проводились сопоставления стандартной информации РБМ, полученной стандартным способом (данные аналогового селектора) и обработкой ДИ. Были разработаны методики детального описания прибора РБМ и поля излучения в атмосфере [7] и адекватной работы с ДИ с учётом того, что известны характеристики каждого импульса [7, 2, 9].

Однако регулярной разработкой программ для работы с ДИ никто не занимался и, соответственно, систематическая обработки этих данных не проводилась. Причина такого положения заключалась в том, что мы считали, что этим как основной задачей должен заниматься достаточно квалифицированный и свободный от других задач программист, а такого не находилось — все имеющиеся в нашем распоряжении программисты были задействованы в разработке и модернизации программ получения ДИ, а также для разработки системы управления базы данных РБМ и просмотра ДИ.

2.3 Регистрация ДИ с октября 2005 г. и её формат

Таким образом, к октябрю 2005 г. аппаратуру и программу записи детальной информации РБМ уже несколько лет никто не курировал, однако она работала достаточно надёжно, и ДИ регулярно регистрировалась, правда, только в полётах РБМ в г. Долгопрудном. Было ясно, что использование этой информации может улучшить качество результатов эксперимента РБМ [9, 11]. С другой стороны, к этому времени выяснилось [15, 16], что для исследования процесса модуляции ГКЛ в гелиосфере большой интерес представляют дифференциальные данные РБМ, в частности, разность скоростей счёта детекторов космических лучей в максимумах кривых

поглощения в высокоширотном (Апатиты) и среднеширотном (Долгопрудный) пунктах проведения РБМ. Эта характеристика ведёт себя во времени аналогично интенсивности ГКЛ т. н. средних энергий (с кинетической энергией $T_n = 100 - 500$ МэВ/н), [15]. Конечно, при использовании дифференциальных данных требования к их качеству в обоих пунктах становятся ещё более жёсткими. В этих условиях задача организации регистрации ДИ в полётах РБМ в Апатитах стала особенно актуальна. Как мы уже упоминали, это стало возможно только после получения гранта РФФИ на исследования ГКЛ средних энергий (№ 05-02-17346, 2005-2007 гг.), а после получения гранта РФФИ на исследования ГКЛ в периоды минимума цикла солнечной активности (№ 08-02-00418, 2008-2010 гг.) эта возможность сохраняется до конца 2010 г.

Итак, с 19 октября 2005 параллельно с регистрацией стандартной информации РБМ (с помощью селектора, осциллографа и основного ПК со звуковой платой и программой СЧЁТЧИК, оцифровывающими форму импульса только для определения его длительности) была организована регулярная регистрация ДИ во всех полётах РБМ в г. Апатитах.

С октября 2005 г. по середину 2007 г. как в Долгопрудном, так и в Апатитах ДИ регистрировалась по-прежнему с помощью платы АЦП L-154 фирмы L-Card (PCI) и программного комплекса STRAT-L (см. раздел 2.2). Время ДИ по-прежнему привязывалось к времени селектора с помощью „минутных“ импульсов. В 2006 г. была приобретена более современная плата АЦП ЛА-1,5РСІ фирмы „Руднев-Шиляев“, и Б.Б. Гвоздевский начал разработку программы визуализации полёта и регистрации ДИ под WINDOWS, на автономном ПК, причём регистрируемые импульсы поступали от генератора. Первый рабочий вариант программы RBM_DI (версия D01, Гвоздевский Б.Б.) был закончен в апреле 2007 г., в мае на обоих приёмных пунктах были установлены новые ПК2, и с июня как в Долгопрудном, так и в Апатитах ДИ стала регистрироваться параллельно на старом и новом комплексах (и, конечно, на селекторе с осциллографом и на ПК1 с программой СЧЁТЧИК). Временная привязка по-прежнему осуществлялась к часам селектора с помощью генерируемых им „минутных“ импульсов.

С июля 2007 г. по ноябрь 2009 г. К середине 2007 г. было выяснено,

что новый комплекс работает надёжно, и в это же время аппаратура старого комплекса (в первую очередь, платы АЦП) стала давать сбои. Поэтому с 03/07/2007 в Апатитах и с 03/09/2007 — в Долгопрудном ДИ регистрировалась только новым комплексом, причём происходили последовательная модификация программы RBM_DI (версии D01–D05) и постепенный переход на привязку времени ДИ к мировому времени. От версии к версии программы RBM_DI постепенно изменялись детали (например, алгоритм определения моментов отметок давления, состав „шапки“ файлов ДИ), но сама ДИ оставалась той же что и в файлах 154. Включилась возможность переключаться от показа зависимости скоростей счёта детекторов КЛ РБМ от времени, $\tilde{N}_{1,2}(t)$, к показу зависимости этих скоростей от количества вещества над прибором, $\tilde{N}_{1,2}(X)$, и обратно. Немного менялся также состав файлов результатов. Например, стал образовываться текстовый файл Sec10.dat с временным поведением средней за 10 секунд амплитуды импульсов, которая используется программой СЧЁТЧИК для задания мгновенного порога регистрации импульсов по амплитуде, а также файл RBM_decision.txt, регистрирующий времена отметок давления, автоматически определённые программой (эта информация может быть полезна в дальнейшем при совершенствовании алгоритма определения моментов контактов). Что касается основного файла ДИ, менялся лишь состав „шапки“ основного файла, включающей характеристики прибора, зонда и используемых при записи аппаратуры и программы, которые могут быть полезны в дальнейшем. Подробно работа с компонентами комплекса RBM_DI и сопутствующими программами описана в отчёте [4]. Структура и особенности всех программ комплекса обсуждаются в отчёте [5].

Следует подробнее остановиться на привязке к мировому времени. Программа RBM_DI в начале своей работы устанавливает время по системным часам компьютера, а после инициализации и начала работы АЦП программа ведёт время по часам АЦП. Часы компьютеров, как известно, не очень точные. Перед запуском RBM-DI каждый раз приходилось вручную по сигналам радио устанавливать точное время на компьютере ПК2 (и перед запуском программы СЧЁТЧИК на ПК1). Часы АЦП более точные. Нами были куплены три АЦП ЛА-2USB, и на всех трёх часы за время полёта уходили не более чем

на полсекунды (точнее оценить было трудно). Однако нет гарантии, что на всех будущих АЦП часы будут столь же точны. Для устранения указанных недостатков (ручная установка начального времени на компьютере и уход часов АЦП) было решено задействовать систему GPS, передающую в своём сигнале точное время. Были приобретены два приёмника GPS Resolution T фирмы Trimble Navigation Ltd. Данная плата не может быть подключена напрямую к компьютеру — требуется ещё дорогостоящий фирменный переходной интерфейс, обеспечивающий питание платы и последовательный порт для связи с компьютером. В целях экономии Балабиным Ю.В. был разработан и создан аналог этого интерфейса. С июня 2008 г. в Апатитах и с сентября этого года в Долгопрудном сигнал GPS стал поступать на ПК2, работающий с пакетом RBM_DI. Гвоздевским Б.Б. были написаны несколько программ для поддержания с помощью приёмника GPS точного времени в системе сбора. Программа **GPS_Time_Server** (GTS) решает задачу установки начального времени на компьютерах ПК2 и ПК1. Программа автоматически запускается на ПК2 при его включении, принимает через последовательный порт текстовые предложения системы GPS в формате **NMEA-0183** и поправляет часы компьютера. Кроме того, эта программа посылает в локальную компьютерную сеть пакеты, содержащие точное время. Таким образом, любой компьютер в сети (в Апатитах — ПК1 и ПК2), на котором запущена соответствующая программа **GPS_Time_Receiver** (GTR), принимает эти пакеты и устанавливает на своих часах точное время. Программа **GPS-ADC_Calibrator** (GPS-ADC) предназначена для калибровки часов АЦП, т.е. для определения коэффициента, компенсирующего отклонение часов АЦП от мирового времени. Эта программа запускается в свободное от полётов время и в течение длительного периода (несколько часов) сравнивает ход часов АЦП и точного (GPS) времени. Причём для большей точности здесь используются не текстовые предложения **NMEA-0183**, а секундные импульсы системы GPS (Pulse Per Second, PPS, амплитуда 3 В, длительность 100 мкс, точность привязки переднего фронта к мировому времени ≈ 20 нс). В результате для каждого конкретного АЦП получается поправочный коэффициент. Этот коэффициент затем прописывается во входных параметрах программы **RBM_DI**, которая во время своей работы ведёт

время по часам АЦП с учётом данной поправки. Таким образом, время в системе сбора автоматически выравнивается по мировому времени с очень хорошей точностью. Необходимость в „минутных“ импульсах селектора после задействования системы GPS (версии 04 и 05 пакета RBM_DI) отпадает.

С конца 2009 г. активная работа по модернизации комплекса RBM_DI прекратилась, и мы вступили в период накопления данных с одним и тем же пакетом (версии D04 и D05 программы RBM_DI, с платами АЦП ЛА-1,5PCI и ЛА-2USB, с привязкой к мировому времени с помощью GPS Trimble Resolution T и программ GTS и GPS-ADC). Конечно, при выявлении ошибок в работе программ они будут исправляться, а при выходе из строя какого-либо оборудования (ПК, плата АЦП, приёмник GPS) оно будет, по мере возможности, ремонтироваться либо заменяться новым. В таком режиме мы работаем по крайней мере до конца 2010 г., когда закончится грант РФФИ.

3 О базе данных ДИ за период с октября 2005 по октябрь 2010 г.

В 2006–2010 гг. была разработана простая, даже примитивная, но работающая система обращения с ДИ, позволяющая формировать базу данных, содержащую все необходимые или полезные для анализа ДИ характеристики. В то же время мы учились обращаться с самой ДИ, структурировать её.

Что касается необходимых или полезных характеристик, имеется в виду, что в распоряжении обработчика должны быть, кроме ДИ, во-первых, все дополнительные данные, относящиеся к полёту - полученные как во время полёта (моменты старта, начала хороших данных, отметок давления, начала обратного хода и т.д.), так и на стадии предполётной подготовки прибора (идентификаторы прибора и узлов, поправки счётчиков и телескопа, давление на отметках). Во-вторых, после получения стандартной информации она подвергается стандартной обработке (описанной в разделе 1.2) для получения стандартных результатов РБМ (кривые поглощения $\tilde{N}_{1,2}(X)$ для каждого полёта и среднемесячные, характеристики максимумов этих зависимостей и т. д.), и при обработке ДИ могут оказаться полезными как сами эти результаты, так и промежуточные данные (spr- и not-файлы). Как

дополнительные и промежуточные данные, так и результаты стандартной обработки РБМ находятся в текстовых данных, и при работе с базой данных хотелось бы не отвлекаться на извлечение этих характеристик, а сразу иметь их в файлах с ДИ (конечно, двоичных).

Под структурой ДИ мы имеем в виду, что в самой ДИ можно выделить несколько уровней по детализации и простоте работы с данными. Уровнем-0 ДИ мы считаем саму исходную ДИ — форму всех импульсов, зарегистрированных в полёте, т. е. набор времён $t_{i,j}$ и напряжений $U_{i,j}$ ($i = 1, \dots, n_j$, $j = 1, \dots, K$) для каждого из n_j отсчётов каждого из K импульсов. Уровень-1 ДИ — это время начала t_j , длительность L_j и максимальное напряжение U_j каждого из K импульсов. Наконец, уровень-2 ДИ — это набор величин $P_{l,j}$ ($l = 1, \dots, m$, $j = 1, \dots, K$) для каждого из K импульсов, где $P_{l,j}$ — l -ый параметр j -ого импульса. Параметры $P_{l,j}$ определяются из аппроксимации $t_{i,j}, U_{i,j}$ некоторой моделью $U(t_{i,j}; P_{l,j})$ импульса с m свободными параметрами. Определение $P_{l,j}$ — довольно сложная процедура (особенно выбор модели импульса и наилучшего метода определения свободных параметров), и хотя первые результаты мы получили (см. раздел 4.1 и Рис. 8 и 9), но базы данных, которые описаны ниже, включают ДИ наиболее простого уровня-1.

К БД ДИ уровня-0 мы относим сами первичные (т. е. полученные в полёте) двоичные файлы, а также совокупность текстовых файлов, тоже созданных пакетами STRAT_L и RBM_DI до, во время и сразу по окончании полёта. Эта БД может быть использована для создания БД ДИ уровня 1 и 2 или для других поисковых работ.

БД ДИ уровня-1 образуется из двоичных файлов ДИ этого уровня, в шапке которых содержатся дополнительные данные полёта. В файлах ДИ последних версий программы RBM_DI (D03–D05) практически вся дополнительная информация уже содержится в шапках файлов *.Dxx. Для более старых форматов дополнительная информация в файлах ДИ или совсем отсутствует (*.154), или присутствует не полностью (D01–D02). Кроме того, часто дополнительная информация в шапках даже последних форматов указана неверно, т. к. сейчас она вводится оператором до, во время и после полёта путём заполнения вручную предлагаемых программой форм или таблиц, а человеку свойственно ошибаться. Ошибки

выявляются при сравнении дополнительной информации, содержащейся в шапке файла ДИ с расширением Dxx, с теми же данными: 1) приведёнными на бумажных протоколе полёта и бланках градуировки; 2) введёнными оператором при работе с программой СЧЁТЧИК и 3) визуализированными программой PULSE. При выявлении ошибок необходимые поправки вносятся в соответствующий файл `Corrections_EXT.pro`, где EXT=154,D01–D05. Программа `Form_Level-1_DI` (Крайнев М.Б., 2007, на языке IDL) считывает файлы с ДИ уровня–0, преобразует её в ДИ уровня–1 и, в зависимости от их расширения (154, D01–D05), может выбирать дополнительную информацию из различных текстовых файлов и при необходимости корректирует её, обрабатывая соответствующий файл `Corrections_EXT.pro`. Важной функцией этой программы является выделение из всех импульсов „минутных“ и определение по ним методом наименьших квадратов коэффициентов A_t и B_t перехода от времени АЦП, $t^{ADC} = N_r \cdot \Delta t_{DI}$, где N_r - число отсчётов с начала регистрации ДИ, к времени селектора $t^{Sel} = A_t \cdot t^{ADC} + B_t$. Даже при приёме ДИ программой RBM_DI версии D05, которая не использует минутные импульсы, они пока тем не менее в потоке данных ДИ присутствуют (т. е. оператор регистрирует их до и после полёта и записывает времена начала и конца регистрации минутных импульсов на бланке протокола), т. к. эти импульсы используются программой PULSE. Вся дополнительная информация, включая коэффициенты A_t и B_t , помещается в шапку файла БД ДИ 1-го уровня, (*.lv1). Таким образом, файлы первого уровня ДИ уже содержат всю необходимую информацию для последующих этапов обработки и анализа ДИ RBM. В настоящее время файлы первого уровня образованы для всех полётов RBM в Апатитах и Долгопрудном с 19 октября 2005 г.

Файлы БД ДИ расширенного уровня–1 (Level-1Ext; файлы *.lle) образуются после завершения стандартной обработки из файлов БД ДИ уровня–1 программой `Form_Level-1_Ext_DI` (Крайнев М.Б., 2010, IDL), которая дополняет шапку файла *.lv1 данными, содержащимися в текстовых spr-, not-, mon- и max-файлах. Отметим, что файл *.lle образуется, даже если в данном полёте детальная информация отсутствует (напомним, что до сих пор регистрация стандартной информации RBM основным и вспомогательным методами обязательна, а регистрация ДИ — инициативна). Поэтому БД

ДИ расширенного уровня-1 может быть использована также для анализа стандартных данных РБМ за годы, когда ДИ не регистрировалась.

Все эти файлы размещаются в директории БД РБМ следующим образом:

```
DB_RBM_DI\Corrections_154.pro
    Corrections_D01.pro
    Corrections_D02.pro
    Corrections_D03.pro
    Corrections_D04.pro
    Corrections_D05.pro
    Form_Level-1_DI.pro
    Form_Level-1_Ext_DI.pro
MU    \List_All_RBM_Flights.txt
      \Level0      \
      \Level1      \
      \Level1Ext   \....
                  \YYYY\....
                  \MM\....
                  \DD\MU_YYYYMMDD_HHMMSS.11e
MO    \...,
```

где структура директории MO (с данными Долгопрудного) — такая же, как показана для MU (с данными Апатит); структура Level0, Level1 — такая же, как показана для директории Level1Ext, а YYYY, MM, DD, HH, MM, SS — год, месяц, день, час, минута и секунда (зимнего московского времени) запуска шара.

Наконец, текстовые файлы List_All_RBM_Flights.txt содержат список всех полётов РБМ в данном пункте с датой, временем старта и расширением файла ДИ (000 при отсутствии ДИ), а в первой строке указывается интервал полётов, данные которых требуется обработать в данном сеансе.

Разумеется, описанные наборы данных и способ работы с ними не соответствуют общепринятому понятию базы данных и системы управления ею, но, за неимением лучшего, они позволяют обрабатывать и анализировать детальную и стандартную информации РБМ.

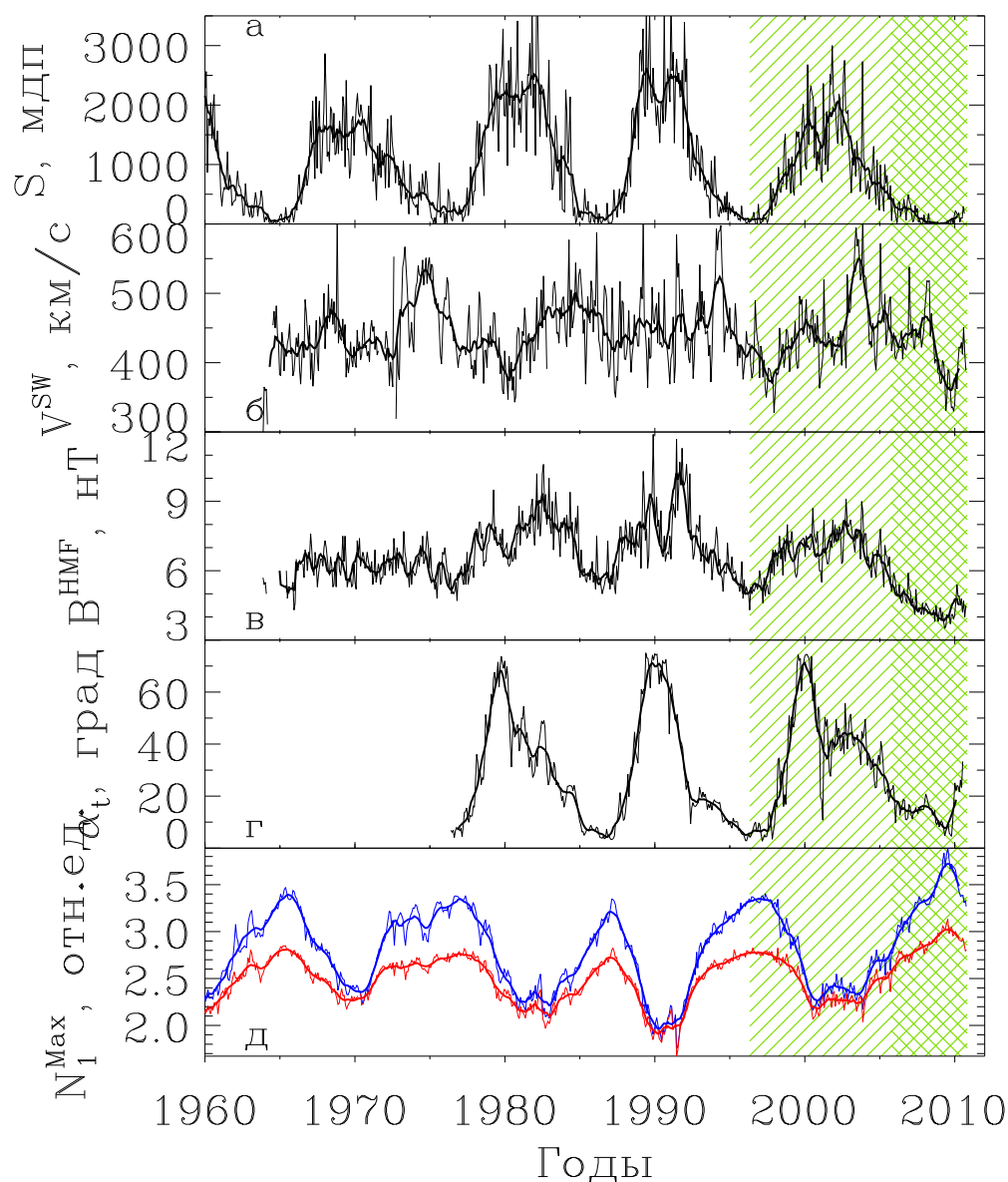


Рис. 5: Периоды регистрации ДИ и зависимость от времени солнечных и гелиосферных характеристик, важных для модуляции ГКЛ, и самой интенсивности ГКЛ. Период регистрации ДИ в Долгопрудном показан штриховкой с наклоном линий к горизонтали 45° , а в Апатитах - 135° . Тонкими линиями показано поведение характеристик, усреднённых за солнечный оборот (≈ 27 дней), а более толстыми — сглаженных с периодом 1 год. Панель а — суммарная площадь солнечных пятен, [21]; б, в — скорость солнечного ветра и напряжённость гелиосферного магнитного поля около Земли, [22]; г — квазинаклон гелиосферного токового слоя к экватору, [23]; д — скорость счёта в максимуме кривой поглощения в Апатитах (верхняя кривая) и Долгопрудном (нижняя кривая).

За указанный период в пунктах, где регистрировалась ДИ, было выпущено 1488 зондов РБМ, из которых ДИ регистрировалась в 733 полётах из 754 в г. Долгопрудном и в 716 из 734 в г. Апатиты. Однако в некоторой части полётов (60 полётов в Долгопрудном и 33 — в Апатитах) с ДИ существуют определённые проблемы, с которыми мы ещё не разобрались (в основном, резкое расхождение временного хода по данным СИ и ДИ, а также проблема со стыковкой данных, полученных после отказа питания, зависания ПК и т. д.). Поэтому ниже, при анализе ДИ и СИ, результаты этих 93 полётов в части ДИ учитываться не будут. Меньшие проблемы есть и в некоторых других файлах БД, так что она должна быть почищена до того как быть выставлена для использования.

Полезно рассмотреть, что представляют собой периоды 1996–2010 гг. и 2005–2010 гг., когда ДИ регистрировалась в полётах РБМ, соответственно, в Долгопрудном и Апатитах, с точки зрения цикла солнечной активности и интенсивности ГКЛ около Земли. На Рис. 5 показаны периоды регистрации ДИ вместе с солнечными и гелиосферными характеристиками, важными для модуляции ГКЛ, и самой интенсивностью ГКЛ за 1960–2010 гг. Видно, что период, когда ДИ регистрировалась в Долгопрудном (05/1996–10/2010), захватывает весь 23-ий цикл солнечной активности, а 5-ти летний период, когда ДИ регистрировалась как в Долгопрудном, так и в Апатитах (10/2005–10/2010), — фазы спада 23-его цикла и аномально длинного и глубокого минимума 24-ого цикла. Также заметно, что почти всё время регистрации ДИ, кроме периода максимума солнечной активности (2000–2003 гг.), скорость счёта одиночного счётчика РБМ в Апатитах значительно превышает скорость счёта в Долгопрудном. Поэтому погрешность определения разности скоростей счёта на высоких и средних широтах, которая, как уже упоминалось, даёт информацию об интенсивности ГКЛ средних энергий, особенно велика в период максимума. Таким образом, и регистрация ДИ одновременно в Апатитах и Долгопрудном для целей уточнения интенсивности ГКЛ средних энергий особенно важна именно в период высокой солнечной активности (следующий такой период будет, по-видимому, в 2012–2014 гг.), а в текущий период минимума солнечного цикла на первый план выходят другие задачи.

4 Об анализе детальной и стандартной информации РБМ.

Пользуясь описанными в разделе 3 базами данных, можно рассмотреть различные аспекты ДИ РБМ, получить из неё стандартную информацию и сравнить её с СИ, получаемой стандартным и основным методами, проанализировать данные РБМ с любым временным разрешением (например, среднесекундные) и с нужным разрешением по амплитуде и длительности импульсов, характеристики сильных коротких всплесков ионизирующего излучения и фона и, наоборот, резкие падения скорости счёта детекторов КЛ и т. д. Кроме того, можно провести анализ качества данных РБМ (как полученных в полёте первичных данных, так и результатов обработки), проверить объективность принимаемых при стандартной обработке решений и т. д. Некоторыми из перечисленных работ мы занимались и ниже иллюстрируем их или сошлёмся на опубликованные результаты.

4.1 Анализ ДИ

Начнём с иллюстрации ДИ и возможностей её использования. На Рис. 6 и 7 показаны распределения по длительности всех импульсов, зарегистрированных во время подъёма зонда в обычных полётах РБМ, соответственно, в Апатитах и Долгопрудном. Вертикальными пунктирными линиями показаны стандартные пороги селектора по длительности τ_1^{th} и τ_2^{th} , а также $\tau_3^{th} = 2000$ мкс, разделяющие импульсы на разные группы L0–L3. До того, как мы начали регистрировать ДИ, никто не предполагал наличие импульсов в области L3 („слипшиеся“ импульсы τ_1 и τ_2 , см. [7]). Аналогично, никто не знал, что от полёта к полёту может сильно меняться общая картина распределения импульсов по длительности (ширина и даже положение пиков, соответствующих τ_1, τ_2, τ_2'), см. [13]. Видно, что уровень помех (L0), а также нижняя огибающая распределения в Долгопрудном несколько выше, чем в Апатитах, что, в общем, согласуется, например, с уровнем телевизионного сигнала.

На Рис. 8 и 9 показаны формы некоторых импульсов, принадлежащих

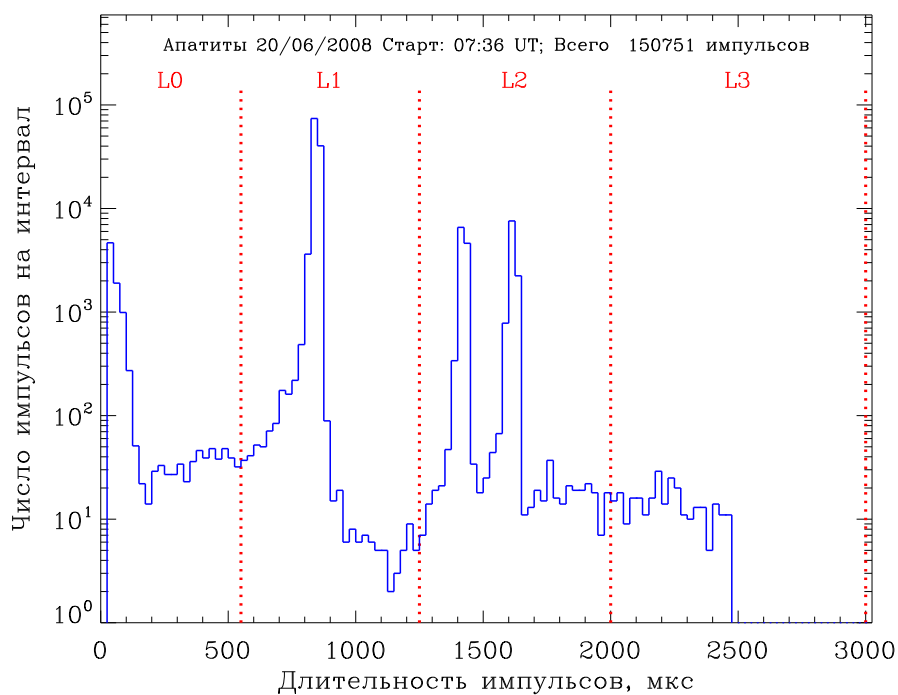


Рис. 6: Распределение зарегистрированных импульсов по длительности для полёта в Апатитах.

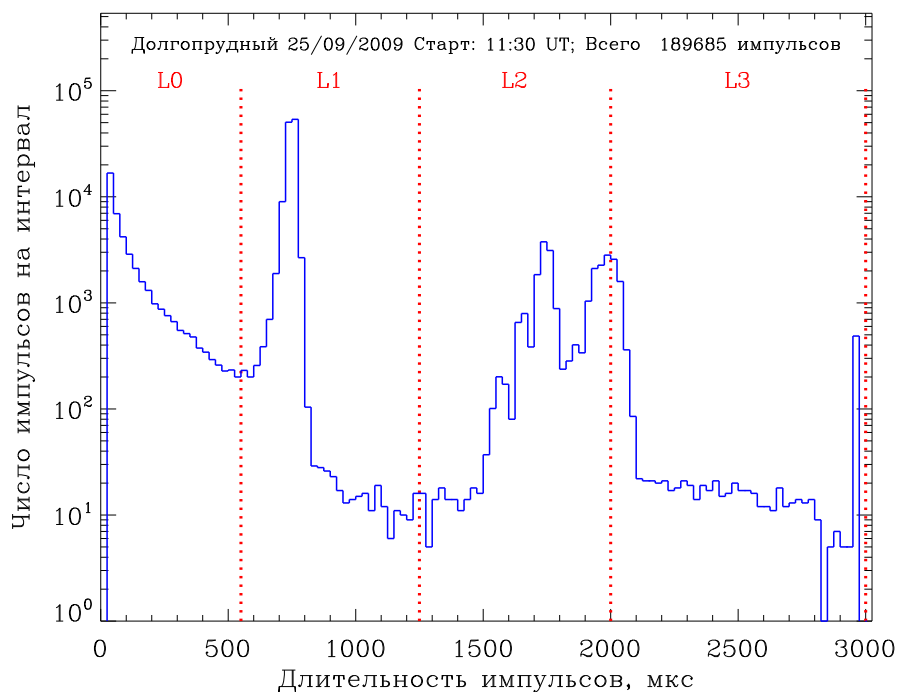


Рис. 7: То же, что на Рис. 6, для полёта в Долгопрудном.

$$t < L: U = U_{\max}(1 - \exp(-t/\tau_1)), \quad t \geq L: U = (U_{\max} + U_2)\exp(-(t-L)/\tau) + U_2$$

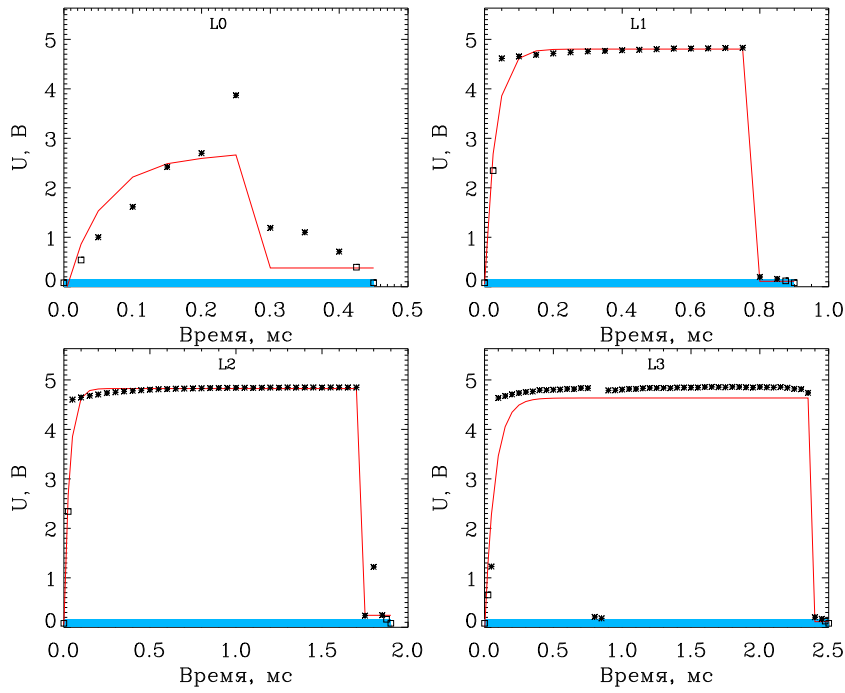


Рис. 8: Форма импульсов разных групп для полёта в Апатитах. Звёздочками обозначены данные ДИ. Сплошной горизонтальной полосой изображена область напряжений ниже порога регистрации ДИ. Тонкой линией показана аппроксимация формы импульса для модели, указанной над панелями (см. обсуждение в разделе 3).

$$t < L: U = U_{\max}(1 - \exp(-t/\tau_1)), \quad t \geq L: U = (U_{\max} + U_2)\exp(-(t-L)/\tau) + U_2$$

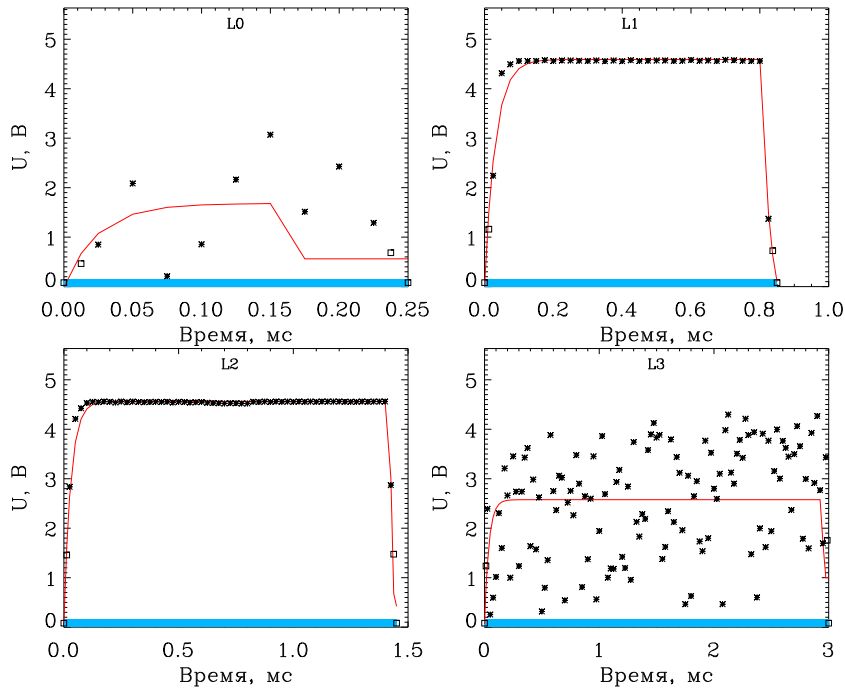


Рис. 9: То же, что на Рис. 8, для полёта в Долгопрудном.

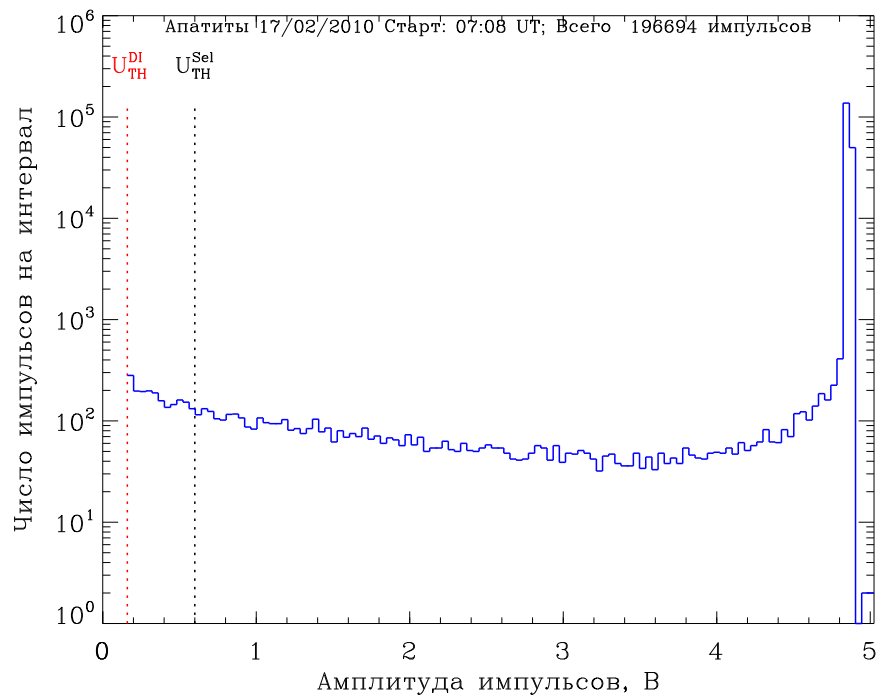


Рис. 10: Распределение зарегистрированных импульсов по амплитуде для полёта в Апатитах. Вертикальными пунктирными линиями показаны стандартные пороги по амплитуде селектора и при записи ДИ.

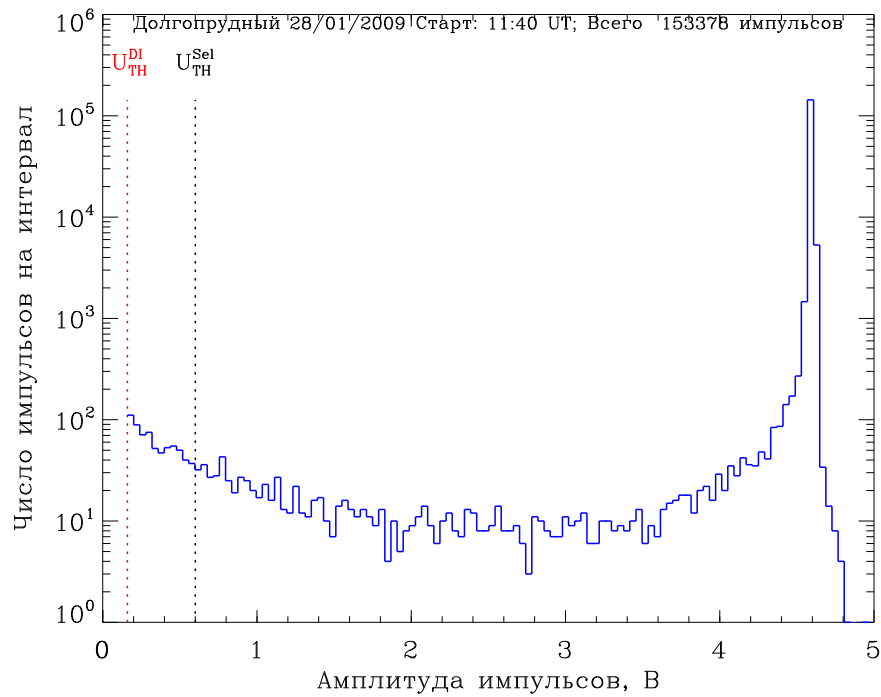


Рис. 11: То же, что на Рис. 10, для полёта в Долгопрудном.

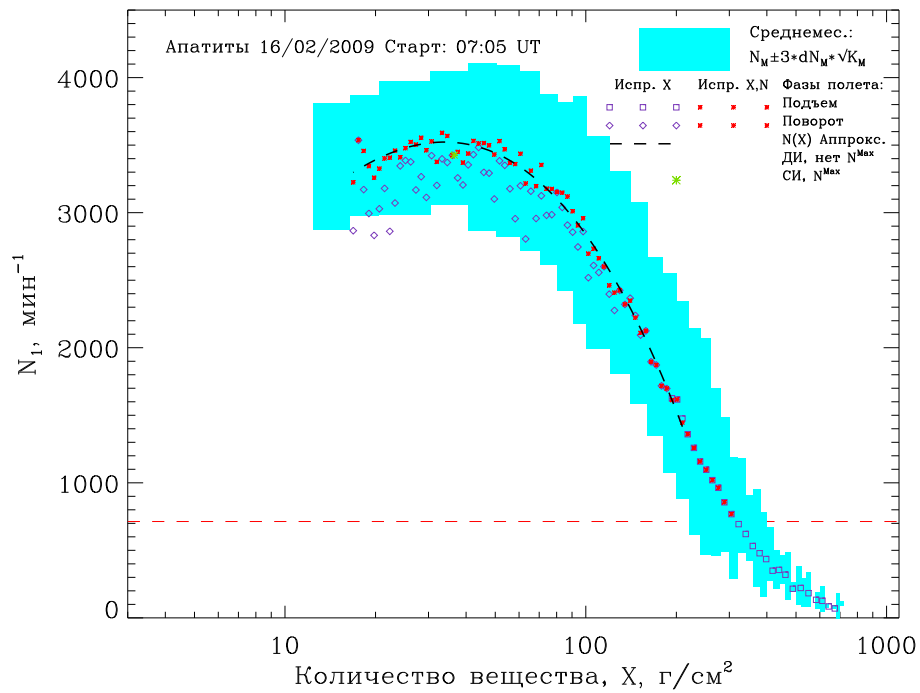


Рис. 12: Кривая поглощения $\tilde{N}_1(X)$ для полёта в Апатитах. Показаны исходная (пустые ромбы) и скорректированная с использованием среднесекундных данных (звёздочки) скорости счёта, а также аппроксимация части кривой полиномом третьей степени (штриховая линия) и максимальная скорость счёта, определённая по исходным данным. Горизонтальная штриховая линия обозначает уровень скорости счёта, выше которого возможна коррекция по среднесекундным данным.

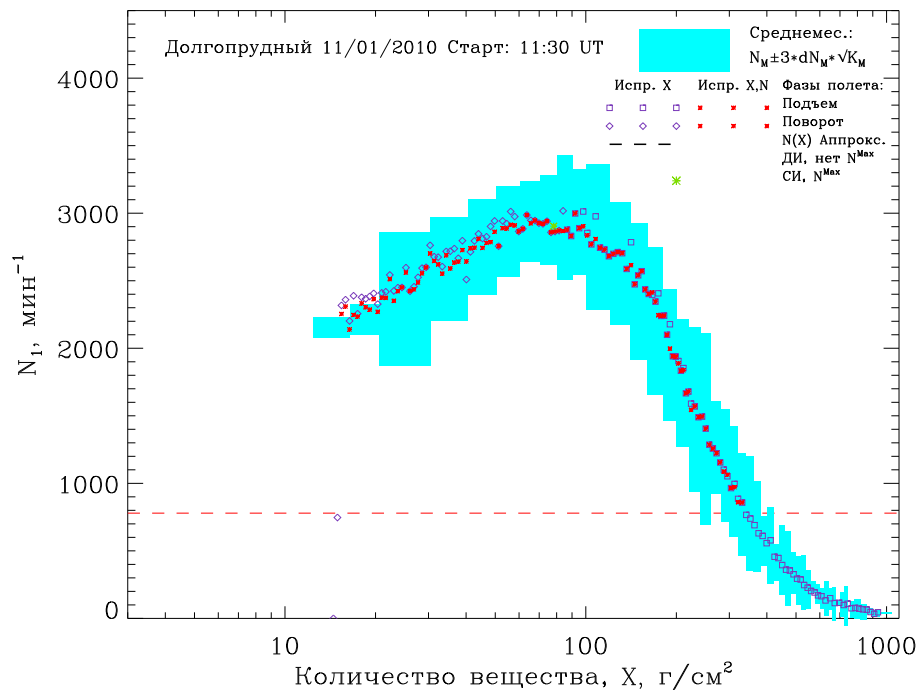


Рис. 13: То же, что на Рис. 12, для полёта в Долгопрудном.

группам L0–L3, для полётов, соответственно, в Апатитах и Долгопрудном. Видно, что для обоих иллюстрированных полётов короткие импульсы (из области L0) имеют совершенно неправильную форму и действительно являются помехами. Импульсы из областей L1 и L2 имеют правильную форму и являются полезными. Что же касается импульсов в области L3, то для полёта в Апатитах этот импульс — продукт слипания импульсов от срабатывания одиночного счётчика и телескопа, а для полёта в Долгопрудном — это явная помеха. Вопросов аппроксимации формы импульсов для создания ДИ уровня-2 мы касались в разделе 3. Здесь укажем, что использованная на Рис. 8 и 9 модель:

$$U = \begin{cases} 0, & \text{при } t \leq t_0; \\ U_{max} \left(1 - \exp\left(-\frac{t-t_0}{\tau_1}\right) \right), & \text{при } t_0 < t \leq t_0 + L; \\ (U_{max} + U_2) \exp\left(-\frac{t-t_0-L}{\tau}\right) + U_2, & \text{при } t_0 + L < t, \end{cases}$$

где $t_0, U_{max}, \tau_1, L, U_2, \tau$ — параметры модели, предполагает наложение нормального импульса в начале полёта на „пьедестал“ в конце, что было характерно для многих импульсов в период, когда для записи использовалась плата АЦП L-154.

На Рис. 10 и 11 показаны распределения по амплитуде всех импульсов, зарегистрированных во время подъёма зонда в обычных полётах РБМ, соответственно, в Апатитах и Долгопрудном. До того, как мы начали регистрировать ДИ, форма распределения по амплитуде совсем не была известна. Понятно, что большой пик при $U = 4 - 5$ В обусловлен тем, что оператор постоянно регулирует коэффициент усиления, чтобы поддерживать эту амплитуду. Не ясно, чем обусловлен небольшой подъём числа импульсов на единицу интервала амплитуды с уменьшением амплитуды при $U < 3 - 4$ В.

К основным результатам РБМ относятся кривая поглощения $\tilde{N}_{1,2}$ и характеристики максимума этой кривой, последние — особенно для исследования ГКЛ. На Рис. 12 и 13 изображены кривые поглощения для одиночного счётчика со стандартным (минутным) временным разрешением в полётах РБМ в Апатитах и Долгопрудном. Наряду с исходной скоростью счёта показаны скорость счёта, скорректированная по методу, использующему

усреднённые за 1 секунду данные и описанному в [13, 14], а также аппроксимация скорректированных данных полиномом 3-й степени и максимальная скорость счёта для исходных данных. Видно, что коррекция данных с использованием скоростей счёта с секундным разрешением позволяет иногда существенно уточнить характеристики максимума кривой поглощения. Это очень часто возможно во время явления резкого периодического (с $T \approx 6 - 8$ с) падения скоростей счёта детекторов РБМ (см. [6, 13]), которое очень распространено, особенно в Апатитах, и интересно само по себе. Объяснения этому явлению пока не найдено.

Конечно, отмеченные в этом разделе возможности использования ДИ пока лишь потенциальны. Однако преимущества её регистрации очевидны и для их использования на практике требуются лишь определённые усилия. Желательно также некоторое расширение самой регистрируемой ДИ и детализация методов её обработки, о чём пойдёт речь в разделе 5.

4.2 Анализ качества полётов РБМ и обработки СИ

Обратимся к анализу качества полётов и данных РБМ, получаемых при стандартной обработке. Сначала введём некоторые полезные характеристики. На верхних панелях Рис. 14 и 15 показана для полётов, соответственно, в Апатитах и Долгопрудном зависимость высоты прибора над уровнем моря от времени (в т. н. стандартной атмосфере, где высота является заданной однозначной функцией давления и наоборот), полученная линейной интерполяцией по стандартным высотам, соответствующим отметкам давления (или экстраполяцией для интервала времени между концом отметок давления прямого хода и началом отметок обратного хода). На нижних панелях для иллюстрации использования ДИ показано, как ведёт себя длительность импульсов телескопа, усреднённая за одну секунду, по поведению которой получены моменты отметок давления. Видно, что использование ДИ позволяет довольно точно и объективно определять моменты отметок давления, что затруднительно при других методах регистрации.

На верхних панелях Рис. 14 и 15, кроме ломаной $H(t)$, проведённой

через все зарегистрированные отметки давления, показаны также отрезки, соединяющие некоторые отметки в обход тех, которые „откращены“ научным сотрудником. Прерывистыми линиями изображены отрезки вокруг начала обратного хода, а специальными символами - максимальная высота подъёма зонда H^{Max} и высота H_I , выше которой мгновенные высоты (и давления или количества вещества над прибором) определяются экстраполяцией (с худшей точностью, чем при интерполяции). Видно, что решения „крестителя“ в отношении отбрасывания отметок давления могут как сильно влиять на значение максимальной высоты, достигнутой в полёте (а значит, минимального количества вещества над прибором), так и сильно уменьшать высоту (увеличивать количество вещества), выше которой H и X определяются с большей погрешностью.

Поведение во времени X_F — наименьшего достигнутого в полёте количества вещества и X_I — наименьшего количества вещества, оцененного интерполяцией, соответствующих H^{Max} и H_I для стандартной атмосферы, а также количества вещества X_1^{Max} в максимуме кривой поглощения для одиночного счётчика и границ областей кривой поглощения, введённых в разделе 1, показано на Рис. 16 и 17, соответственно, для Апатит и Долгопрудного. Видно, что 1) в подавляющем числе полётов количество вещества над прибором в области максимума кривой поглощения и выше было определено по экстраполяции высотной кривой, т. е. с невысокой точностью; 2) минимальное достигнутое в полёте количество вещества существенно уменьшилось с середины 2007 г. благодаря переходу на более качественные оболочки и 3) если в Долгопрудном при этом значительное число зондов долетает до высот, где возможна надёжная экстраполяция кривой поглощения к границе атмосферы, в Апатитах это случается очень редко.

Для исследования ГКЛ самое важное в полёте РБМ — определение характеристик максимума кривой поглощения, затем — максимальная высота подъёма зонда в полёте H_F (или минимальное достигнутое количество вещества над прибором X_F) и, наконец, количество отброшенных при „крещении“ минутных данных. Конечно, эти критерии учитывают не только качество самих полётов, но принимается во внимание и отбрасывание отметок давления при „крещении“. Тогда можно ввести характеристику качества

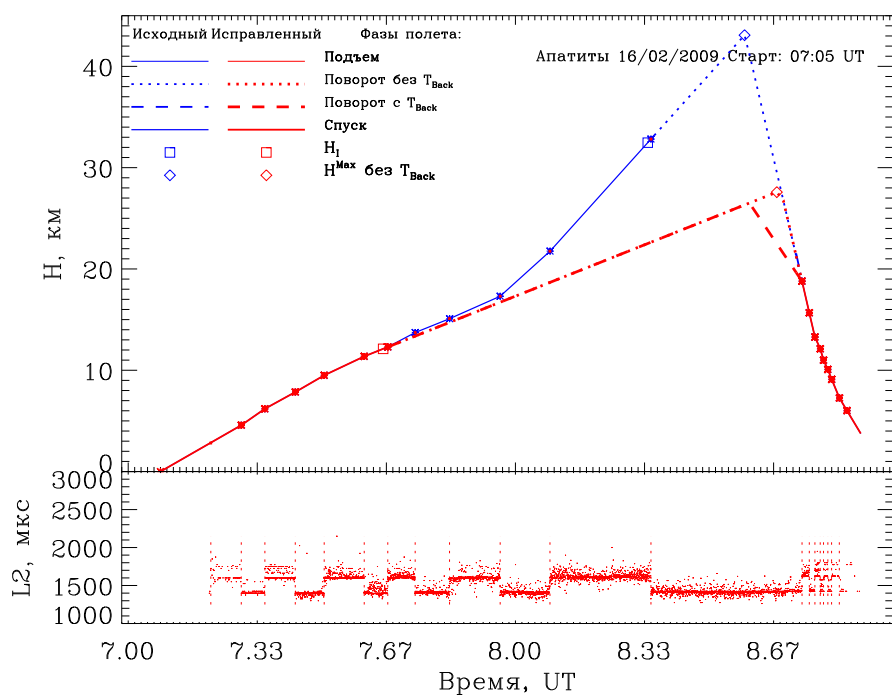


Рис. 14: Зависимость от времени для полёта в Апатитах: верхняя панель — высоты зонда в стандартной атмосфере и нижняя панель — средней за 1 сек длительности импульсов телескопа.

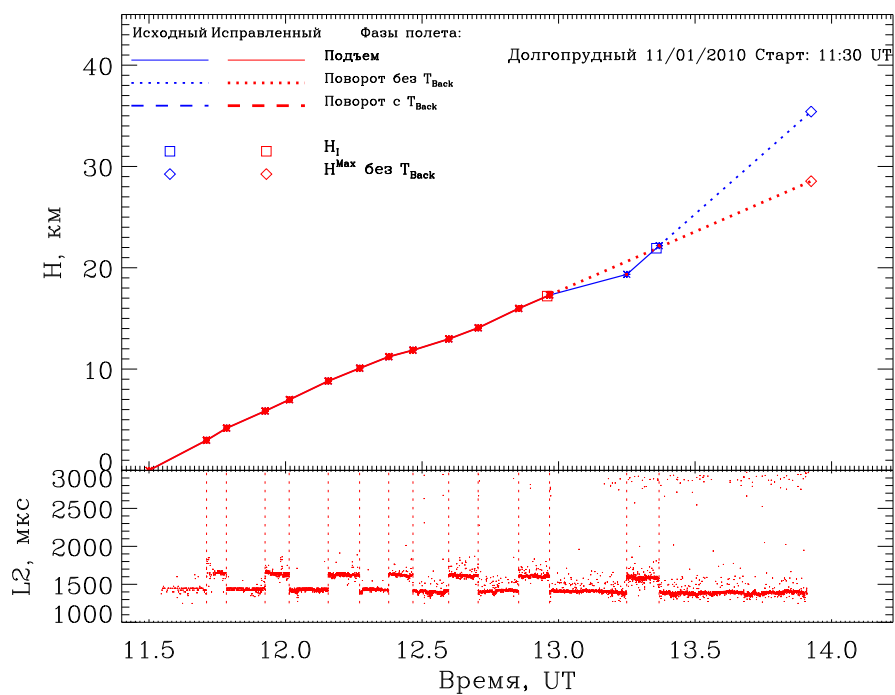


Рис. 15: То же, что на Рис. 14, для полёта в Долгопрудном.

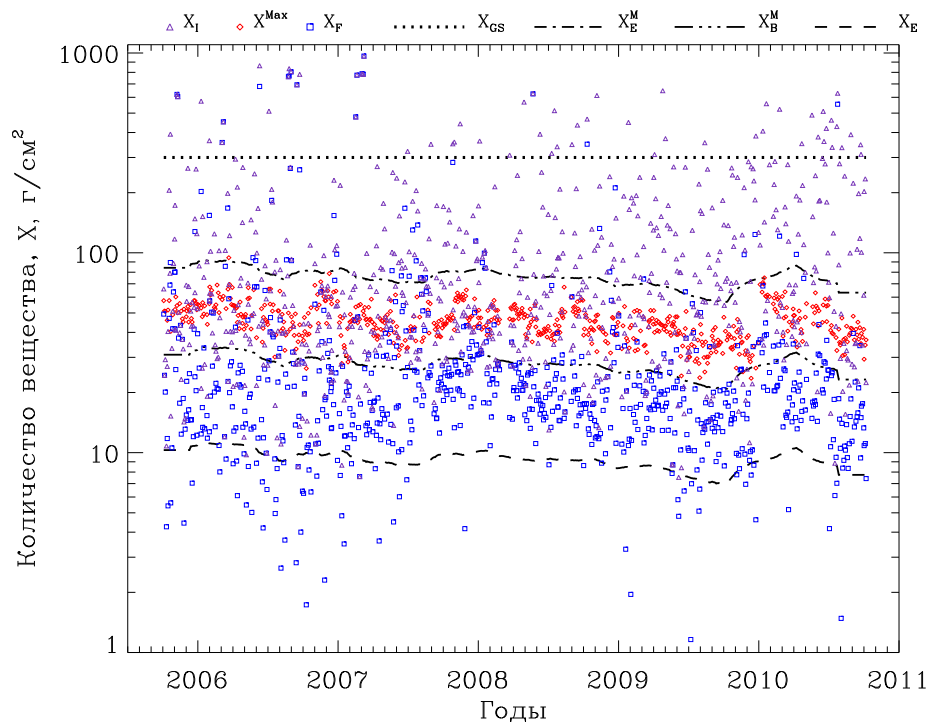


Рис. 16: Зависимость от времени характеристических значений X в 2005–2010 гг. в Апатитах. Значки и типы кривых, которыми показаны различные характеристические значения X , указаны непосредственно над рисунком.

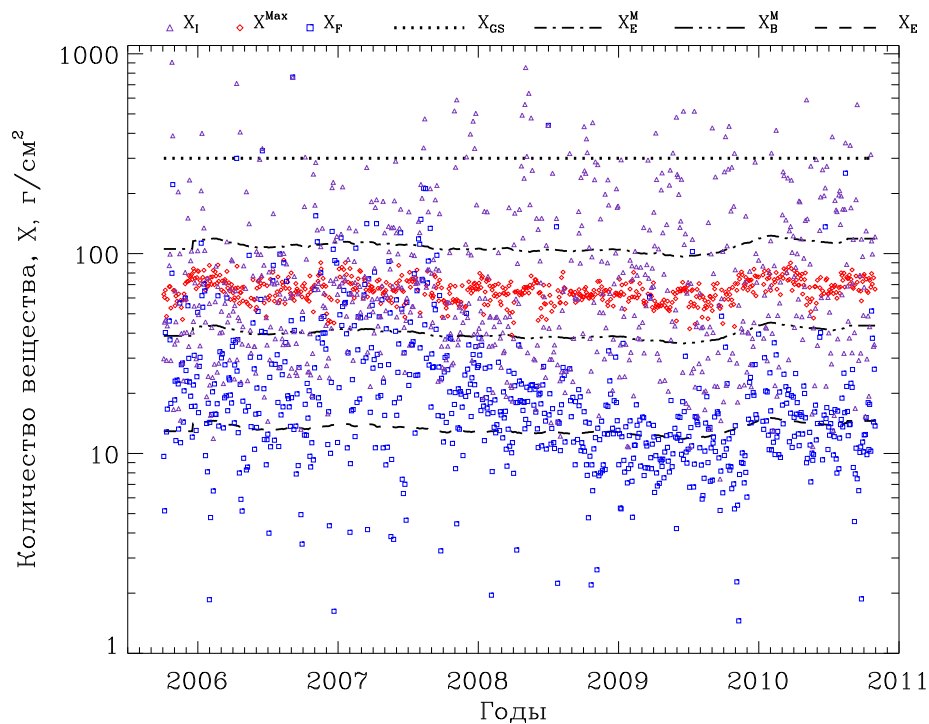


Рис. 17: То же, что на Рис. 16, но в Долгопрудном.

полёта РБМ для исследования ГКЛ Q_{GCR} , изменяющуюся от 0 до 8:

$$Q_{GCR} = \begin{cases} 0 + \delta, & \text{без контактов, без } N^{Max}, \text{ с } X_F > X_{GS}; \\ 1 + \delta, & \text{с контактами, без } N^{Max}, \text{ с } X_F \in (X_E^M, X_{GS}]; \\ 2 + \delta, & \text{с контактами, без } N^{Max}, \text{ с } X_F \in (X_B^M, X_E^M]; \\ 3 + \delta, & \text{с контактами, без } N^{Max}, \text{ с } X_F \in (X_E^M, X_E]; \\ 4 + \delta, & \text{с контактами, без } N^{Max}, \text{ с } X_F < X_E; \\ 5 + \delta, & \text{без контактов, с } N^{Max}, \text{ с } X_F \in (X_B^M, X_E^M]; \\ 6 + \delta, & \text{с контактами, с } N^{Max}, \text{ с } X_F \in (X_E^M, X_E]; \\ 7 + \delta, & \text{с контактами, с } N^{Max}, \text{ с } X_F < X_E, \end{cases}$$

где δ — доля минутных скоростей счёта, оставшихся после „крещения“. На Рис. 18 и 19 показано распределение полётов РБМ по Q_{GCR} , соответственно, в Апатитах и Долгопрудном в 10/2005–10/2010 гг., а также чем отличаются полёты, относящиеся к каждому из диапазонов Q_{GCR} , и как осуществляется грубое деление полётов по их качеству. Видно, что для полётов в Апатитах качество данных несколько хуже, чем в Долгопрудном, причём особенно бросается в глаза малый процент полётов в Апатитах, для которых возможна более или менее надёжная экстраполяция скоростей счёта к границе атмосферы.

На Рис. 18 и 19 также показано, как отличаются указанные распределения для полётов, которые проводит основной оператор и дополнительный, который заменяет основного на время отпуска. Видно, что если использовать введённый нами показатель Q_{GCR} , качество полётов, проведённых основным и дополнительным оператором, отличается не очень сильно. Отметим лишь, что для основного оператора в Апатитах несколько хуже, чем для дополнительного, распределение по качеству внутри группы хороших полётов (меньше полётов, улетевших выше области максимума кривой поглощения), а в Долгопрудном заметно уменьшена доля отличных полётов для дополнительного оператора по сравнению с основным.

Теперь несколько слов о качестве данных о максимуме кривой поглощения в отдельных полётах. На Рис. 20 и 21, соответственно, для Апатит и Долгопрудного, сравнивается поведение этих характеристик в 10/2005–

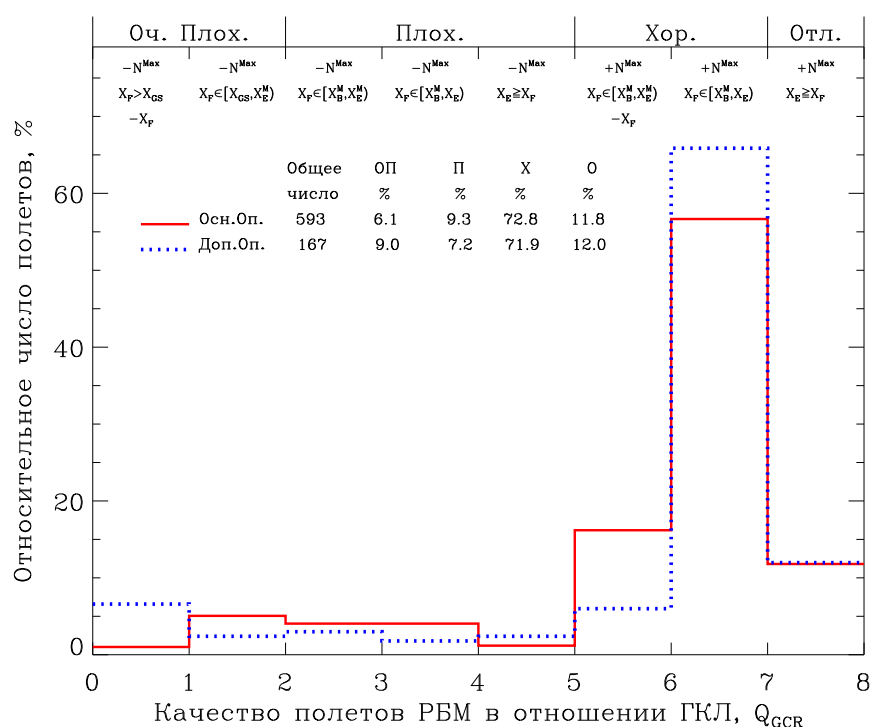


Рис. 18: Распределение по качеству (в отношении ГКЛ) полётов в Анапитах в 2005–2010 гг. (см. текст).

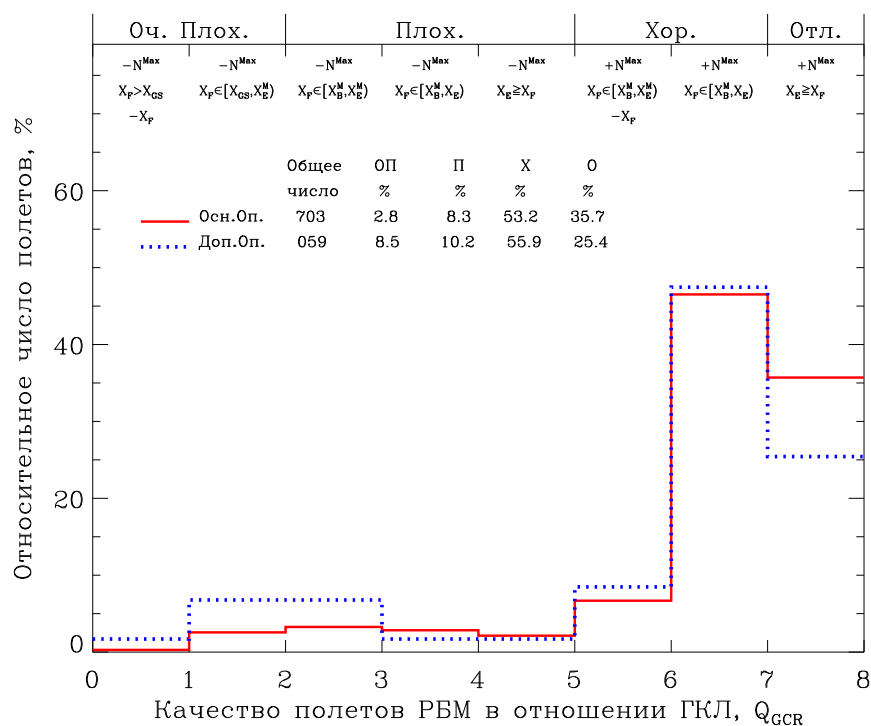


Рис. 19: То же, что на Рис. 18, но в Долгопрудном.

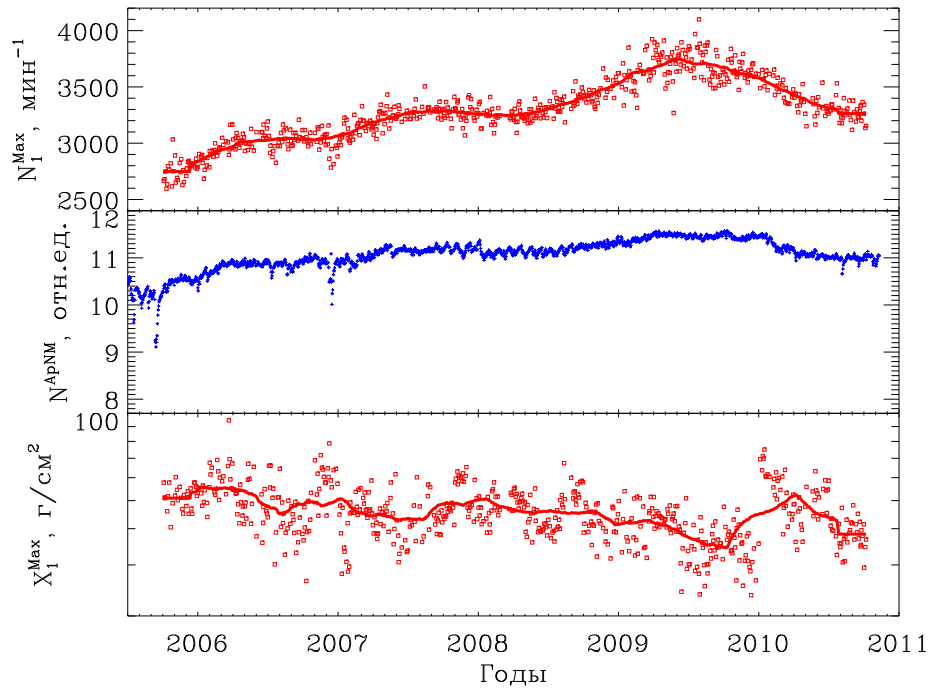


Рис. 20: Зависимость от времени скорости счёта одиночного счётчика в максимуме кривой поглощения $\tilde{N}_1^{Max}$ (верхняя панель) и положения максимума X_1^{Max} (нижняя панель) для каждого полёта в 10/2005–10/2010 в Апатитах. Непрерывными жирными линиями показано поведение характеристик, сглаженных с периодом ≈ 2 месяца. Показано также поведение среднесуточной и сглаженных скоростей счёта нейтронного монитора в Апатитах (средняя панель).

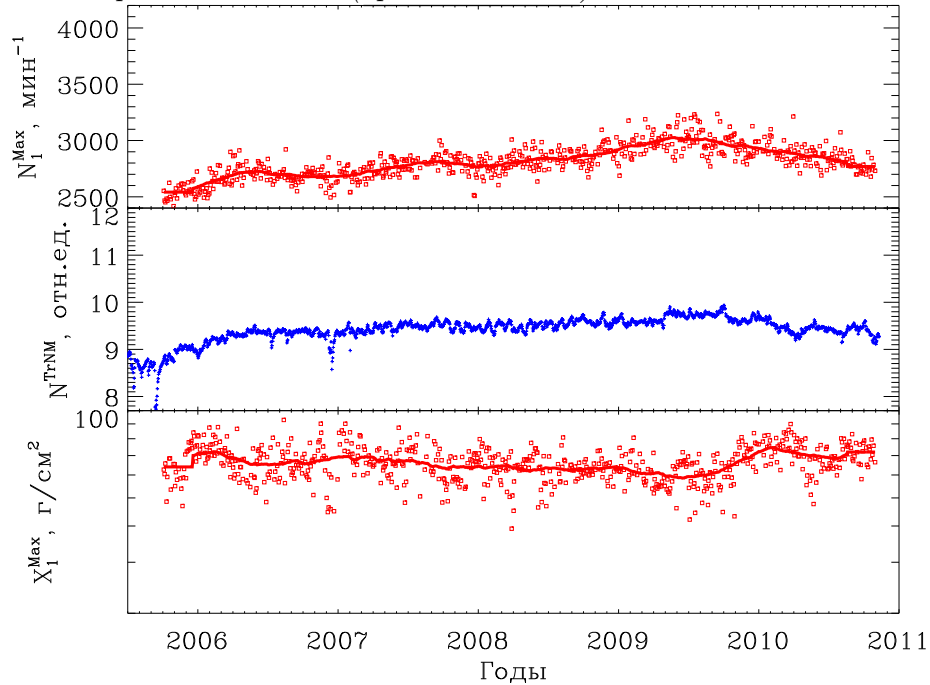


Рис. 21: То же, что на Рис. 20, но в Долгопрудном. Использованы данные нейтронного монитора в Троицке (Московская область).

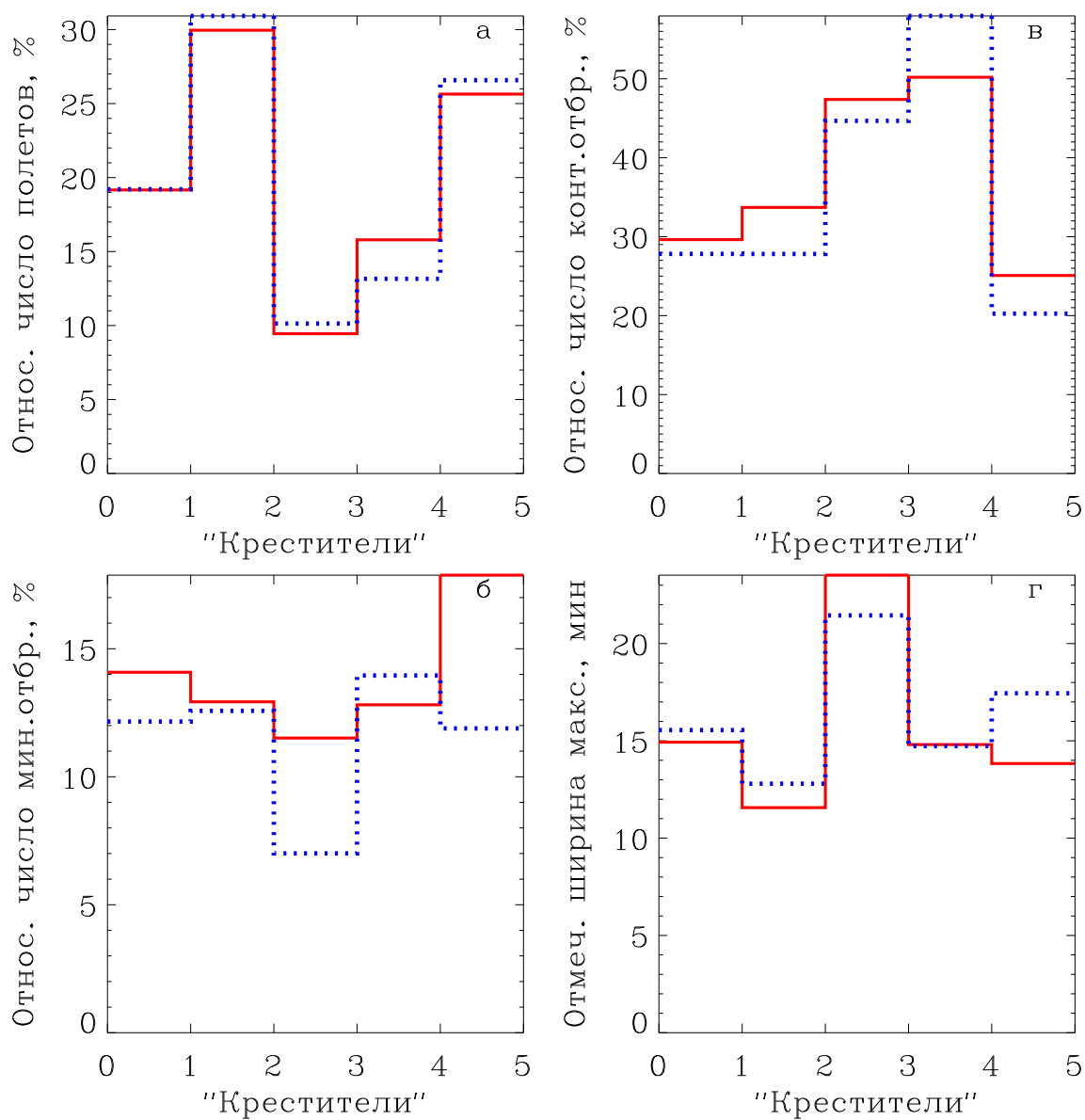


Рис. 22: Решения, принимаемые в процессе „крещения“ различными научными сотрудниками (произвольно пронумерованными от 1 до 5). Процент полётов, обработанных „крестителем“ (панель а), средний процент отбраковки минутных скоростей счёта (б) и отметок давления (в), ширина (в минутах) области максимума кривой поглощения (г). Сплошной гистограммой показаны распределения для полётов в Апатитах, а пунктирной — в Долгопрудном.

10/2010 с поведением среднесуточной скорости счёта соответствующих нейтронных мониторов. Обращают на себя внимание три особенности данных РБМ: 1) значительно больший разброс суточных данных по максимальной скорости счёта $\tilde{N}_1^{Max}$ относительно сглаженных, чем для нейтронных мониторов; 2) очень большой разброс положения максимума X_1^{Max} и 3) странный временной ход положения максимума в 2010 г. Относительно первой особенности можно добавить, что и коэффициент корреляции между скоростью счёта в максимуме для каждого полёта РБМ и среднесуточными значениями счёта нейтронных мониторов очень низок, в то время как корреляция скорости счёта нейтронных мониторов с интенсивностью ГКЛ средних энергий по среднесуточным данным значительно выше (см. [16]). Это свидетельствует о том, что необходимо существенно улучшать методику определения характеристик максимума кривой поглощения.

Для проверки качества стандартной обработки (точнее, объективности её субъективной составляющей, „крещения“) можно рассмотреть, насколько различаются решения разных „крестителей“ в отношении среднего процента отбраковки отметок давления и минутных скоростей счёта, ширины области максимума кривой поглощения, и какой процент всех полётов обработал данный креститель. Эта информация показана на разных панелях Рис. 22. Видно, что распределения для полётов в Апатитах и Долгопрудном не сильно отличаются друг от друга. Что же касается других вопросов „крещения“ — активности разных „крестителей“, процента отброшенных минутных данных и отметок давления, ширины отмечаемой области максимума кривой поглощения (а значит, и значения максимальной скорости счёта $N_{1,2}^{Max}$) — разброс между решениями разных „крестителей“ довольно большой. Этот анализ ещё раз подтверждает необходимость преодолеть субъективный характер обработки данных РБМ.

Понятно, что мы исследовали не все возможные проблемы качества полётов и обработки стандартных данных РБМ, которые можно рассмотреть, пользуясь описанными в разделе 3 базами данных. С другой стороны, было бы интересно проанализировать аналогичным образом данные РБМ до 10/2005.

В начале 2008 г. мы провели детальное сравнение стандартной информации (скорость счёта детекторов КЛ РБМ за каждую минуту полёта), полученной

за четыре месяца 2007 г. всеми тремя методами — с помощью аналогового селектора, программой СЧЁТЧИК и пакетом RBM_DI (см. [6, 14]). Оказалось, что расхождение между скоростями счёта, определёнными аналоговым селектором и программами, использующими оцифровку импульса, примерно одно и то же для программ СЧЁТЧИК и RBM_DI. Было показано, что это расхождение слабо связано с несколько разными абсолютными временами, в которых происходит разделение на минуты селектором и каждой из программ. По-видимому, расхождение в большей степени определяется несколько отличающимися порогами по длительности и по амплитуде, используемыми в разных методах. Заметим, что с помощью ДИ мы можем определить, каков мгновенный порог по амплитуде, используемый для выделения импульсов программой СЧЁТЧИК, и как он меняется в течение полёта (файл Sec10.dat из набора файлов, генерируемых программой RBM_DI, см. [6, 14]). Однако главное заключается в том, что расхождение с данными селектора для обеих программ было существенно меньше, чем статистическая неопределённость данных, из чего мы сделали вывод, что однородность рядов данных РБМ не нарушается при переходе от аналогового к любому из двух цифровых методов детектирования данных.

Отметим также, что если, не имея ДИ, не прибегать к коррекции минутных данных по скорости счёта детекторов КЛ типа тех, которые показаны для $X < 100$ г/см² на Рис. 12, эти данные придётся отбросить („открестить“). При этом не удастся получить информацию об области максимума кривой поглощения или эта информация будет искажённой. К тому же цена (экономическая) этих отброшенных без учёта ДИ, но спасённых с её помощью данных составляет довольно существенную часть от стоимости выпущенного зонда. Это преимущество регистрации ДИ тоже надо учитывать при сравнении разных методов регистрации данных РБМ. Поэтому мы считаем, что при приёме и регистрации данных РБМ имеет смысл перейти от параллельной регистрации данных тремя методами к работе только с пакетом RBM_DI, может быть, несколько изменённым.

5 Что не сделано, а хотелось бы

Прежде всего, перечислим относительно сложные работы, для выполнения которых требуется 1–2 года. В принципе, для каждой из этих работ нужны выделенный начинающий исследователь (студент–дипломник или аспирант) и помощь квалифицированного инженера (электронщика или программиста) и научного сотрудника:

1. Нам не удалось осуществить запись коэффициента усиления сигнала на выходе радиоприёмника K^r (в дополнение к записи формы импульса). К сожалению, это не было сделано в начальный период работы (1995–1997 гг.), когда в группе модернизации РБМ ещё работал выделенный инженер (А.М. Карпец). Отметим, что имеющиеся у нас АЦП многоканальны и с довольно высокой максимальной частотой опроса, т.е. они позволяют регистрировать одновременно несколько характеристик. Регистрация K^r позволила бы определить амплитуду импульсов на входе приёмника, а значит мы бы получили определённую информацию об удалении зонда от приёмного пункта D^u , об амплитуде и фазе колебания зонда на подвеске и т. д. В свою очередь, анализ изменения этих характеристик и интервалов между полезными импульсами позволил бы получить информацию об угловом распределении ионизирующего излучения $J(X, \theta)$ на глубине X (о методе получения этой информации см. следующий пункт). Можно было бы точнее отфильтровывать импульсы помех (которые, в отличие от полезных импульсов, от D^u не зависят). Методику определения $D^u, J(X, \theta)$ и т. д. можно было бы проверить и уточнить при совместных выпусках с аэрологическим зондом, при котором положение зонда относительно приёмного пункта известно для любого момента времени (см. Рис. 23). В Долгопрудном аэрологическое зондирование осуществляется в Центральной Аэрологической Обсерватории в непосредственной близости от приёмного пункта РБМ, и такие совместные выпуски осуществлялись неоднократно. Кроме того, сделав мобильный пункт приёма данных, приём информации можно было бы организовать из нескольких точек, что значительно увеличило бы точность определения положения и

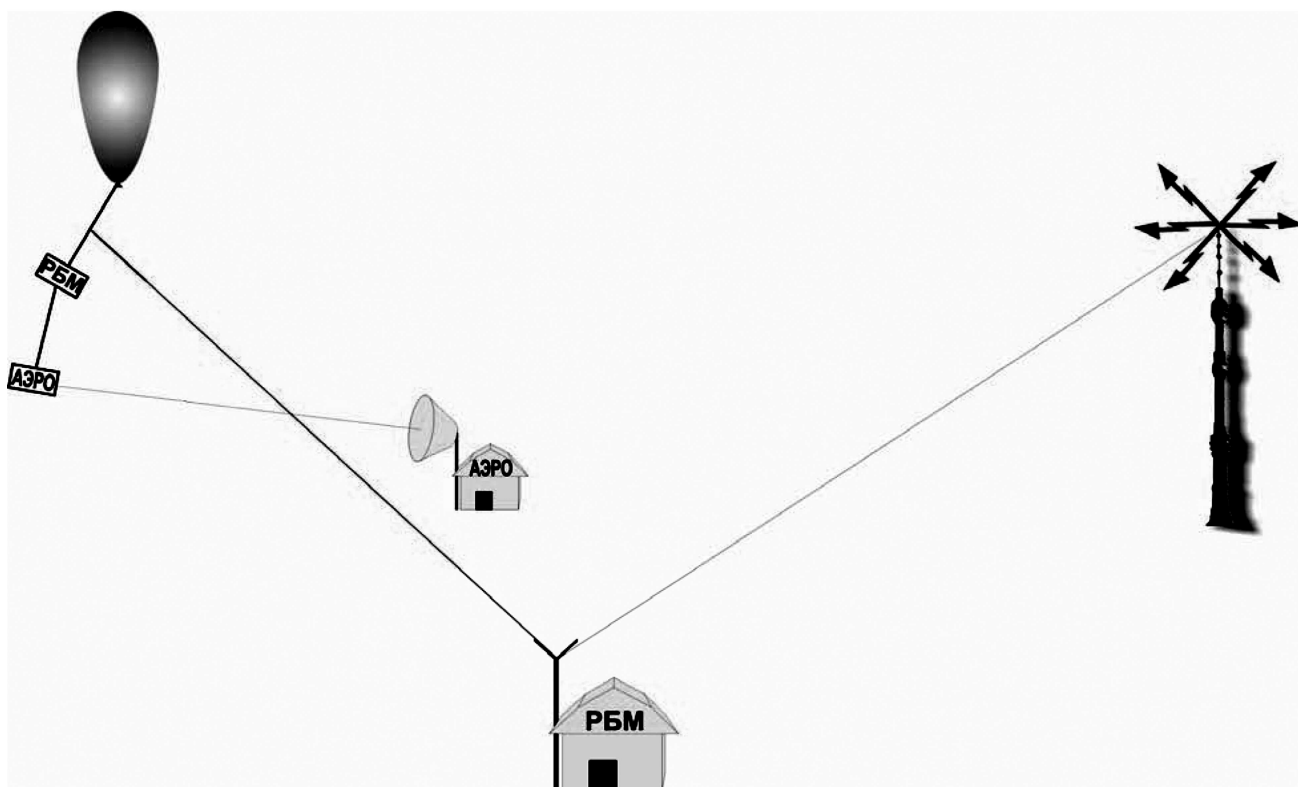


Рис. 23: *Схема эксперимента РБМ с подвеской к аэрологическому зонду.*

направления осей прибора, а значит, и поля излучения ионизирующего излучения в атмосфере.

2. Не реализована методика анализа данных РБМ, адекватная для ДИ, когда известно время прихода, амплитуда и длительность каждого импульса полёта. В общих чертах эта методика предложена в [7, 2, 9], и она заключается в том, что процесс измерений описывают некоторой моделью $M(\alpha)$ (включающей модели поля излучения и движения зонда в атмосфере) с набором свободных параметров α , который подлежит определению по ДИ обо всех зарегистрированных в полёте полезных импульсах. Вычисляя по модели моменты срабатывания детекторов КЛ и применяя метод максимального правдоподобия, можно найти такие значения свободных параметров, при которых полученное в эксперименте распределение моментов регистрации частиц (t^u) будет наиболее вероятным. В работах [7, 2, 9] также изложен способ описания детектора КЛ и поля излучения в атмосфере, позволяющий реализовать предложенную методику (разложение по сферическим функциям как

углового распределения излучения $J(X, \theta)$, так и эффективной площади проекции детектора на заданное направление $S_{\perp}(\theta)$). Мы собирались применить эту методику для исследования углового распределения интенсивности космических лучей в атмосфере (см. [9]), но она может иметь значительно более широкое применение. Ясно, что в полной мере эта методика может быть полезна лишь в том случае, если известны характеристики полезных импульсов (по крайней мере t^u, L^u, U^u) на входе приёмника, поэтому для её полноценной реализации надо провести запись коэффициента усиления сигнала (т. е. работы предыдущего пункта).

3. Надо привести в порядок БД ДИ за 10/2005–2010 гг., создать аналогичную БД за 05/1996–10/2005 гг., разработать гибкое и удобное программное обеспечение для обработки этих БД, а затем провести систематическую обработку этих данных для получения более точной, чем имеющаяся в настоящее время, информации о поле ионизирующего излучения в атмосфере, радиопомехах и т. д. Под приведением в порядок БД ДИ за 10/2005–2010 гг. мы имеем в виду, что надо найти причины и исправить те особенности файлов данных (как ДИ, так и СИ), которые не позволили нам обработать эту БД в полном объёме. Если измерения ДИ одновременно в Апатитах и Долгопрудном будут проводиться ещё несколько лет, до 2012–2014 гг., актуальным будет более точное определение скоростей счёта в максимуме кривой поглощения в этих пунктах для уточнения поведения интенсивности ГКЛ средних энергий в период высокой солнечной активности.
4. Можно было бы реализовать запись несущей частоты приёмника, что дало бы возможность её автоматической регулировки и, в принципе, позволило бы избежать пропадания сигнала из-за ухода частоты и т. д. Хорошо бы использовать запись и анализ ДИ на стадии отладки и настройки прибора перед выпуском для более полной проверки качества прибора и его компонент. Эти работы могут быть частью общей деятельности по разработке нового прибора РБМ (с новым бародатчиком, может быть, новой логической схемой и передаваемой информацией) и т. д.

Далее перечислим более простые работы, требующие значительно меньших усилий:

1. Надо создать хоть какое-то подобие СУБД РБМ (по типу STRAT_CL, см. раздел 1.2) и включить в неё работу с пакетом RBM_DI.
2. Надо продолжить работу по детальному сравнению стандартных данных, образованных всеми тремя методами регистрации данных РБМ и прийти, наконец, к приёму данных одним методом, освободив операторов от лишней работы. Возможно, при этом будет полезен наш опыт регистрации (в 1999 г.) через АЦП, кроме формы импульсов с низкочастотного выхода приёмника, также импульсов TTL, генерируемых в селекторе при регистрации им импульсов с приёмника (форматы ДИ файлов 155 и 156, см. раздел 2.2). Как уже упоминалось, наилучшим кандидатом на этот единственный метод мы считаем регистрацию ДИ пакетом RBM_DI, возможно, в какой-то мере изменённым.

6 Выводы

1. Разработан аппаратно-программный пакет RBM_DI для регистрации данных эксперимента регулярного баллонного мониторинга (РБМ) космических лучей. Этот пакет обладает значительными преимуществами перед используемыми в настоящее время методами регистрации данных. При работе с ним автоматически регистрируется как стандартная информации, получаемая другими методами, так и намного более детальная информация, которая может быть использована для получения дополнительных сведений о поле излучения в атмосфере и о работе зонда. Использование детальной информации практически не нарушает однородности ряда данных РБМ и экономически целесообразно. Поэтому имеет смысл при приёме и регистрации данных РБМ перейти на работу с пакетом RBM_DI, может быть, несколько изменённым.
2. За период октябрь 2005 – октябрь 2010 гг. принята детальная информация в 733 полётах в г. Апатитах и в 716 полётах в г. Долгопрудном, которая

организована в простую, но работающую базу данных, позволяющую проводить довольно разнообразный анализ данных РБМ, качества полётов и их обработки. За предыдущий период (июнь 1996 – октябрь 2010 гг.) детальная информация принята в 1170 полётах только в г. Долгопрудном.

3. В будущем желательно организовать запись не только формы импульсов на выходе приёмника, но некоторых других характеристик (в первую очередь, коэффициента усиления приёмника), что позволит получить важную и полезную информацию о поле ионизирующего излучения в атмосфере. Кроме того, для обработки детальной информации нужно не только использовать обычную методику усреднения скоростей счёта за некоторые интервалы времени, но и применять адекватный ДИ метод, использующий характеристики каждого принятого импульса.

Выполненная работа была бы невозможна без поддержки РФФИ (гранты 05-02-17346 и 08-02-00418) и без больших усилий операторов приёма данных Иванова В.В., Черкасова А.И., Кукулина О.П. На первых этапах (до 2004 г.) основной вклад в разработку пакета внесли Корольков Д.Н. и Кибардин В.М. Кроме того, благодарим Максумова О.С. и Балабина Ю.В. за интерес и неоднократную инженерную помощь, а Крайнева П.М. — за помощь в оформлении работы.

Список литературы

- [1] Bazilevskaya G.A., Krainev M.B., Stozhkov Yu.I., Svirzhevskaya A.K., Svirzhevsky N.S, Long-term Soviet program for the measurement of ionizing radiation in the atmosphere, J. Geomagn. Geoelectr, **43**, Suppl., 893-900, 1991.
- [2] Bazilevskaya G.A., Korolkov D.N., Krainev M.B., Svirzhevskaya A.K., Svirzhevsky N.S. On the angular distribution of cosmic ray intensity in the Earth's atmosphere. Proc. 25th ICRC, Durban, South Africa, **7**, p. 321-324, 1997.
- [3] Bazilevskaya G.A., Svirzhevskaya, A.K., On the stratospheric measurements of cosmic rays, Space Science Reviews, **85** (3-4), 431-521, 1998.
- [4] Гвоздевский Б.Б., Программно-аппаратный пакет Regular Balloon Monitoring - Detailed Information, Версия 100924, Расширенное руководство оператора, 2010.
- [5] Гвоздевский Б.Б., Программно-аппаратный пакет Regular Balloon Monitoring - Detailed Information, Версия 101201, Руководство для программиста, 2010.
- [6] Gvozdevsky B.B., Krainev M.B., Modernization of the registration of the detailed information in the regular balloon monitoring of cosmic rays in Apatity and Dolgoprudny and the abrupt periodical drops of the counting rates, Труды XXXI ежегодного международного семинара „Физика авроральных явлений“, ПГИ, Апатиты, Россия, 119-121, 2008.
- [7] Корольков Д.Н., Дипломная работа, МИФИ, 1996.
- [8] Корольков Д.Н., Крайнев М.Б., Автоматизированная система STRATOS-95 обработки данных частого стратосферного зондирования космических лучей, Отчёт, 17 стр., ДНС ФИАН, 1995.
- [9] Корольков Д.Н., Карпец А.М., Кибардин В.М., Крайнев М.Б., Детальная информация в эксперименте частого стратосферного зондирования космических лучей. Изв. РАН, сер. физ., т. 63(10), 2089-2093, 1999.

- [10] Крайнев М.Б., Автоматическая система обработки данных эксперимента по Частому Стратосферному Зондированию космических лучей, Рукописный отчёт, 187 стр., ДНС ФИАН, 1989.
- [11] Krainev M.B., On the possible improvement in the frequent balloon cosmic ray monitoring in the Earth's atmosphere, Труды XXVIII ежегодного международного семинара „Физика авроральных явлений“, ПГИ, Апатиты, Россия, 231-234, 2005.
- [12] Krainev M.B., Some new results from the detailed information in the regular balloon monitoring of cosmic rays in Apatity and Dolgoprudny, Труды XXX ежегодного международного семинара „Физика авроральных явлений“, ПГИ, Апатиты, Россия, 129-132, 2007.
- [13] Krainev M.B., On the detailed information in the regular balloon monitoring of cosmic rays: the description of the method and some new results, Proc. 30-th ICRC, Merida, Mexico, **1**, 465-468, 2008.
- [14] Krainev M.B., Some additional results in the regular balloon monitoring of cosmic rays in the Earth's atmosphere, Adv. Space Res., **44**, 1138-1143, 2009.
- [15] Krainev M.B., Webber W.R. The medium energy galactic cosmic rays according to the spacecraft and stratospheric data, Препринт ФИАН им. П.Н. Лебедева №11, Москва, ФИАН, 18 с., 2005.
- [16] Krainev M.B., Belov A.V., Gushchina R.T., Yanke V.G. On the long-term variations of the medium energy galactic cosmic ray intensity according to the balloon and neutron monitor data collected in the Kola Peninsula and in the Moscow region, Труды XXIX ежегодного международного семинара „Физика авроральных явлений“, ПГИ, Апатиты, Россия, 191-194, 2006.
- [17] Свиржевская А.К., Кандидатская диссертация, Москва, ФИАН, 149 с., 1987.
- [18] Stozhkov Y.I., Svirzhevsky N.S., Makhmutov V.S., Cosmic ray measurements in the atmosphere, Препринт ФИАН им. П.Н. Лебедева №8, Москва, ФИАН, 77 с., 2001.

- [19] Стожков Ю.И., Свиржевский Н.С., Базилевская Г.А., Свиржевская А.К., Квашнин А.Н., Крайнев М.Б., Махмутов В.С., Клочкова Т.И., Потоки космических лучей в максимуме кривой поглощения в атмосфере и на границе атмосферы (1957-2007), Препринт ФИАН им. П.Н. Лебедева № 14, М.: ФИАН, 77 с., 2007.
- [20] http://sites.lebedev.ru/DNS_FIAN/
- [21] <http://solarscience.msfc.nasa.gov/greenwch.shtml>
- [22] ftp://nssdcftp.gsfc.nasa.gov/spacecraft_data/omni
- [23] <http://wso.stanford.edu/>