

УДК 551.5

ВЛИЯЮТ ЛИ ФАКТОРЫ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ АВИАЦИОННЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ?

© 2012 г. А. Н. Ляхов, С. И. Козлов

Учреждение РАН Институт динамики геосфер, г. Москва

e-mail: alyakhov@idg.chph.ras.ru

Поступила в редакцию 16.09.2010 г.

На основании статистического анализа банка данных Национального Бюро по безопасности на транспорте США показывается отсутствие влияния факторов космической погоды на авиационные происшествия. Рассмотрены типичные логические и методические ошибки, возникающие в такого рода исследованиях, и приводятся аргументы в пользу бесперспективности дальнейших исследований по данному вопросу.

1. ВВЕДЕНИЕ

Начиная с пионерских работ [Чижевский, 1976] и последующих многочисленных публикаций вопрос о влиянии факторов космической погоды и, прежде всего, магнитной активности (МА), на общее самочувствие и здоровье человека стал очевидным, во всяком случае на уровне установления статистически значимых корреляционных зависимостей. Отсюда понятны попытки обнаружить воздействие космической погоды на авиационные происшествия (АП), которые, как известно, обусловлены на 70–80% так называемым “человеческим фактором”, т.е. ошибками летного состава или представителями наземных служб. При этом АП в соответствии с международной классификацией подразделяются на катастрофы (АПк), (aviation accidents) сопровождающиеся гибелью людей и разрушением конструкции самолета, и на летные происшествия (АПл) (aviation incidents), в которых указанные ситуации отсутствуют. Естественно, АПл \gg АПк.

Исследования по поиску связей гелиогеофизических факторов с АП проводились в целом ряде работ. В работе [Комаров и др., 1998] использовалась информация о 216 АП, из которых 86 относились к АПк, имевших место в России в 1989–1994 гг. и была обнаружена, по мнению авторов, достоверная связь между АП и числом N_{ssc} магнитных бурь с внезапным началом. В работе [Кища и др., 1999] было проведено сопоставление временного ряда годовых значений АП без их разделения на АПк и АПл за 50-летний период с 1946 по 1997 гг. с числом солнечных пятен W и МА, выражаемой через известный aa -индекс. В целом за весь период влияние солнечной активности (СА) и МА на АП не выявлено. Однако утверждается, что имеет место чередование периодов, когда сравниваемые величины (АП, W , aa) совпадают или противоположны по фазе, особенно, при сглаживании значений 11-летним скользящим средним. Исследование [Ляхов и Козлов, 2003] о

связи СА и МА с АП базировалось на весьма большом банке данных об АП (142140 случаев, происшедших в США с 1964 г. по 2003 г.). Основные выводы: существует экспоненциальный спад аварийности за этот период, что объясняется простым ростом надежности авиационной техники; имеет место сезонная зависимость АП, связанная со значительным увеличением авиарейсов в летние месяцы; связь между АП и СА и МА отсутствует. Эффекты смены полярности межпланетного магнитного поля (ММП) в динамике АП в период 1964–2003 гг. (2756 АП) рассматривались [Зенченко и др., 2006]. С помощью метода наложенных эпох и статистического критерия Вилкоксона показано влияние смены знака ММП на АП. В кратком сообщении [Schwimbersky et al., 2006] на основании анализа 323 АПк сделан вывод, что летные качества пилотов на коммерческих авиалиниях не зависят от общего уровня геомагнитного возмущения, во всяком случае, в одном 11-летнем цикле СА (01.01.1994 г.–01.01.2005 г.). Наконец, в работе [Lyakhov and Kozlov, 2007] предлагается в рассматриваемую проблему включать дополнительный фактор – “жизненный цикл” того или иного типа самолета от начала его эксплуатации. Оказалось, что данный момент существенно сказывается на распределения АП, и в целом влияние СА и МА на АП не выявляется (использовался тот же банк данных по АП, что и в работе [Ляхов и Козлов, 2003]).

Как видно из проведенного краткого обзора, конечные результаты и выводы в разных работах значительно расходятся между собой. На наш взгляд, существует несколько причин таких расхождений.

Прежде всего обратим внимание на большой разброс в данных, принятых в исследованиях, об общем количестве АП, да еще полученных в различные годы или, по-другому, в разные 11-летние циклы СА, отличающиеся продолжительностью, максимальными величинами W , временами роста

и спада активности, характером поведения МА [Ривин, 1989]. В общем случае, исходя из простых положений общей теории статистики [Елисеева и Юзбашев, 1999; Брандт, 2003], чем больше анализируемый банк исходных данных, тем, в конечном счете, результаты становятся более достоверными и репрезентативными.

Другое важное обстоятельство. При решении подобных задач, очевидно, необходимо опираться на официальную информацию об АП. Она содержится в двух базах данных – Национального Бюро по безопасности на транспорте США (National Transportation Safety Board, NTSB), представляемой для ознакомления на сайте <http://www.nts.gov/ntsb/query.asp>, а также на сайте <http://www.faa.org>, принадлежащим Федеральной авиационной администрации США (FAA). Сведения об АП, публикуемые в других источниках (см., например, [Черняев, 1996] или сайты www.planecrashinfo.com, www.airdisaster.com) могут считаться неполными и недостоверными, т.к. их статус не подтвержден в отличие от баз данных NTSB, FAA какими-либо национальными законодательными актами. К сожалению, информацию об отечественных АП следует отнести к подобного рода сведениям в силу ее закрытости, во всяком случае, до 1995–1996 гг. и отсутствия в Интернете. Об этом, кстати, косвенно свидетельствует невозможность понять в работах [Киша и др., 1999; Комаров и др., 1998] конкретные ссылки на литературу, откуда были взяты данные об авиaproисшествиях в России.

Третья причина связана с определенным произволом при выборе факторов космической погоды, которые могут влиять на АП. Исходя из концептуального принципа, изложенного выше и с которым согласны подавляющее большинство исследователей, основную роль должна играть МА, включая магнитные бури, и СА. Разброд начинается с их описания. Используются и глобальный индекс МА A_p , и только $A_p > 40$, и aa -индекс, и число магнитных бурь с внезапным началом, и т.п. Возникает законный вопрос, а почему не применяется индекс Dst или данные о количестве сильных магнитных бурь (по сравнению с N_{ssc}), надежно определяемых по трехчасовым и/или суточным значительным вариациям A_p и Dst ? Солнечную активность, как правило, описывают поведением W или индекса $F10.7$ во времени. Однако известно, что СА можно представлять и по-другому: четными и нечетными 11-летними циклами, годами роста и спада СА в этих циклах и, наконец, пренебрегая любыми циклами, годами максимальной ($F10.7 > 150$), средней ($110 \leq F10.7 \leq 150$), и минимальной ($F10.7 < 110$) активности Солнца. Естественно, целесообразно одновременно использовать различные формы описания СА и МА, как это, например, было сделано в работах [Козлов, 2001; 2005].

Четвертая причина, весьма “болезненная”, и заметно снижающая уровень доверия к подобно-

го типа работам, кроется в методических ошибках проведения статистического анализа [Kozlov et al., 2007]. Заметим при этом, что данная проблема является весьма острой и в других областях знаний [Леонов и Ижевский, 1997; Pittock, 1978]. Объем статьи не позволяет дать полное описание этой причины. Поэтому мы ограничимся констатацией только отдельных фактов. Считать наличие связи между геомагнитными факторами и АП только на основе простого совпадения периодов [Комаров и др., 1998] является безграмотным (см. [Витязев, 2001]). Сглаживание значений 11-летним скользящим средним [Киша и др., 1999] представляется очень грубым, а с физической точки зрения необоснованным. Статистический критерий Вилкоксона по своей сути и назначению [Елисеева и Юзбашев, 1999] не применим к задаче, рассматриваемой [Зенченко и др., 2006]. Более того в работе [Зенченко и др., 2006] исходные данные по полярности межпланетного магнитного поля представлены в виде категориальных данных, которым авторами банка данных приписан определенный цвет – красный, зеленый, синий. Как авторы [Зенченко и др., 2006] вычисляли среднее значение для категориальных данных остается загадкой.

При исследовании любого статистического распределения и его характеристик необходимо основываться на строгих математических методах [Ляхов и Козлов, 2003; Kozlov et al., 2007], а не ограничиваться соображениями типа “некая единая закономерность – почти нормальное распределение огибающей (?)” (цитата взята из работы [Комаров и др., 1998]).

И последнее. Многие исследования страдают от субъективности оценок. Справедливости ради отметим, что в одно время и авторы настоящей статьи были также подвержены этому [Ляхов и др., 2001]. Конечно, понятно желание того или иного ученого обязательно обнаружить надежные статистические связи между АП и факторами космической погоды. Однако именно из-за такой позиции, зачастую, и вытекает неразборчивость при выборе исходных данных по АП и гелиогеомагнитным параметрам, а также в использовании статистических методов анализа.

В данной работе приводятся результаты комплексного исследования влияния факторов космической погоды на возникновение авиационных происшествий с единых методологических позиций. Ее можно рассматривать в качестве логического развернутого продолжения докладов [Lyakhov and Kozlov, 2007; Kozlov et al., 2007].

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Как и ранее [Ляхов и Козлов, 2003; Lyakhov and Kozlov, 2007], мы базируемся на официальных данных Национального Бюро по безопасности на транспорте США (National Transportation Safety Board, NTSB) об АП, происшедших на территории США в период с 1962–1964 по 2002 гг. При этом

эксплуатировалось более 16000 самолетов разных типов, к 2002 г. совершалось $\sim 32.5 \times 10^6$ вылетов в год, и в воздухе самолеты провели $\sim 16.5 \times 10^6$ часов. Число аварий на миллион вылетов упала с ~ 50 в 1962–1964 гг. до $\sim 2-3$ в 2002 г., что, безусловно, свидетельствует в целом о росте надежности авиационной техники и ее совершенствовании, а также об ужесточении правил эксплуатации. Расследования АП показали, что $\sim 67\%$ из них напрямую относятся к ошибкам пилотирования, прежде всего при посадке и взлете, 6% – к неудовлетворительной работе наземных служб, 12% – к отказам техники, 10% – к плохим метеоусловиям, а в $\sim 5\%$ причины аварий не выявлены. Как видно для описываемых конкретных данных $\sim 73\%$ АП определяются “человеческим фактором”, о котором упоминалось выше, и целесообразность оценки связи АП с МА и СА представляется вполне оправданной. Единственным, но важным, недостатком является необходимость принять в качестве первоначального постулата, что МА и СА может влиять на любого человека, что очевидно, имеет место далеко не всегда. Такое влияние определяется возрастом человека, его самочувствием, эмоциональным состоянием, специфическими условиями работы, составляя сугубо медицинский аспект гелиобиологии.

Выбор характеристик солнечной и, в особенности, магнитной активностей, с которыми можно было бы статистически связать анализируемые АП, представляет определенные трудности из-за многообразия этих характеристик и способов их описания [Каталог индексов, 1979]. Поэтому в ряде работ [Козлов, 2001; Kozlov, 2005], близких по тематике к настоящему исследованию, одновременно используются несколько индексов, прежде всего, для описания МА. Однако в нашем конкретном случае задача несколько упрощается благодаря следующим обстоятельствам. Во-первых, мы базируемся на опыте ранее выполненных исследований [Киша и др., 1999; Зенченко и др., 2006; Комаров и др., 1998; Ляхов и др., 2001], несмотря на то, что полученные результаты, на наш взгляд, представляются сомнительными (см. введение). Во-вторых, рассматриваемые АП относятся к средним широтам (США), и поэтому многими факторами космической погоды, относящимися к полярным и экваториальным широтам, естественно, можно пренебречь. В-третьих, измерения рядов различных гелиогеомагнитных параметров должны быть непрерывными, во всяком случае, в период с 1962–1964 по 2002 г. Все это позволило ограничиться нам двумя гелиогеомагнитными индексами – W и $Ap > 40$, последний из которых хорошо описывает сильные геомагнитные бури на средних широтах. Сразу оговоримся, как будет видно из дальнейшего изложения, вопрос о выборе того или иного фактора космической погоды оказался не столь уж принципиальным. Кроме того, мы попытались здесь учесть влияние сезона на АП.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

1. Одним из важнейших вопросов анализа является понимание того, коррелируют или нет АП с общим количеством вылетов N . Если такая корреляция существует, то АП зависят от N [Елисеева и Юзбашев, 1999; Гмурман, 2001], и, следовательно, выделение влияния космической погоды на АП значительно усложняется. К сожалению, по полному банку данных NTSB расчет коэффициента корреляции не возможен из-за недостоверных сведений об N , предоставляемых авиакомпаниями и носящих во многом рекламный характер. Вместе с тем, данную проблему можно попытаться решить (во всяком случае, на приближенном уровне), воспользовавшись информацией об АП, N для такого самолета, как Boeing [Statistical Summary ..., 2008]. Оказалось, что непараметрический коэффициент корреляции Спирмена равен $r = -0.88$ на очень высоком уровне значимости $p \leq 2.6 \times 10^{-7}$. Это говорит о том, что для конкретного типа самолета наблюдается отрицательная корреляция, что вполне естественно с учетом роста с течением времени N и увеличением надежности авиационной техники, и, по-видимому, подобная корреляция имеет место и для других типов (вопрос несколько дискуссионный, но имеющий право на жизнь).

2. На рисунке 1 показаны годовые данные о W , число дней с $Ap > 40$ и АП. Очевидно, что АП не коррелируют ни с W , ни с Ap . Аналогичная ситуация наблюдается, если значения W разбить, как указывалось выше, на годы роста и спада СА в 11-летних циклах, четные и нечетные циклы СА, на годы минимальной, средней и максимальной активности Солнца, используя, конечно, другие непараметрические критерии типа Крускала–Уоллиса, Манна–Уитни, Пирсона и т.д., для оценки статистических связей.

3. На рисунке 2 приведены взятые из работы [Ляхов и Козлов, 2003] сведения о зависимости АП от сезона. Имеем ярко выраженную связь АП с сезоном, причем максимум АП приходится на летние месяцы, июнь–август. Такая ситуация противоречит известному геофизическому факту о сезонном ходе МА с наиболее сильными вариациями в весеннее и осеннее равноденствие. Заметим, что сезонные изменения в значениях W отсутствуют. Следовательно, влияние факторов космической погоды на АП не выделяется, а обнаруженный максимум в распределении АП легко объясняется простым увеличением авиарейсов летом. Последнее обстоятельство подтверждает сделанный выше вывод о возможной тесной связи АП с общим количеством рейсов N .

Таким образом, проведенный здесь с разных позиций наиболее полный анализ проблемы еще раз свидетельствует [см. Ляхов и Козлов, 2003; Киша и др., 1999; Lyakhov and Kozlov, 2007; Schwimbersky et al, 2006] об отсутствии влияния СА и МА на АП (мы указали только те работы, в

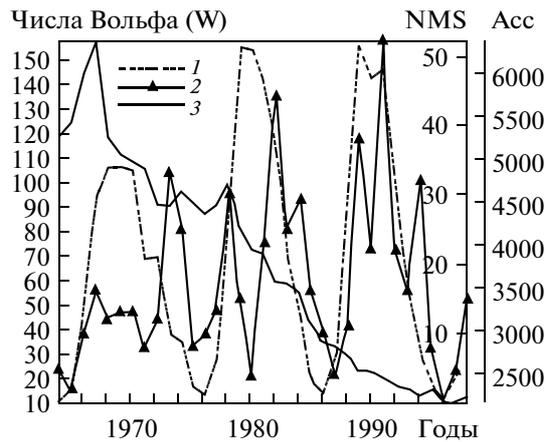


Рис. 1. Распределение по годам солнечной активности (число Вольфа, кривая 1), магнитной активности (число дней с $A_p > 40$, кривая 2) и числа летних происшествий (кривая 3, данные NTSB).

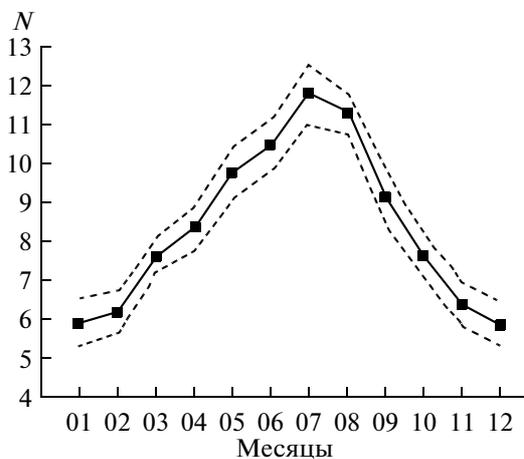


Рис. 2. Сезонное распределение числа летних происшествий по данным NTSB, штриховой линией показано среднее квадратическое отклонение.

которых данный вывод был сделан на основании проведения анализа в целом на достаточно высоком научном уровне). В связи с этим, возникает принципиальный вопрос — а надо ли искать в дальнейшем статистические связи между факторами космической погоды и авиационными происшествиями, идея, например, по пути более детального описания гелиогеомагнитной обстановки? Отчасти, отрицательный ответ был получен в настоящем исследовании, когда не обнаружилось корреляционные связи между АП и представляемой по разному СА. Существует, кроме того, по этому вопросу и целый ряд других важных соображений.

4. О НЕЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРОБЛЕМЕ

По своей сути данные по АП представляют собой дискретные случайные величины, а гелио-

геомагнитные данные — непрерывные. Выше для совместного анализа проводился переход от дискретных к квазинепрерывным данным по АП на месячном базисе. Для данных NTSB месячные данные по АП могут быть представлены классической декомпозицией вида: $N_{АП} = T + S + \varepsilon$, где T — тренд, S — сезонная компонента и ε — остатки. Данные рис. 1 содержат экспоненциальный тренд, выраженный сезонный ход, а остатки распределены по нормальному закону с нулевым средним на уровне значимости $p < 0.01$ по критерию Лилефорса и при $p < 0.001$ по критерию Шапиро—Уилка. Все это свидетельствует о следующем: модель декомпозиции является вполне адекватной, а значения ε представляют собой белый шум. Гелиомагнитные факторы какого-либо отношения к поведению тренда и сезонному ходу АП не имеют, и, как отмечалось выше, изменение этих параметров объясняется, соответственно, ростом надежности авиационной техники и увеличением авиарейсов летом, в особенности чартерных, аварийность на которых более, чем в 2 раза превышает аварийность на обычных регулярных рейсах по данным NTSB. Искать взаимосвязи СА и МА с остатками (белым шумом) бессмысленно, так как можно обнаружить все что угодно.

Мы уже говорили выше о необходимости использования максимально полного банка данных по летным происшествиям. На обывательском уровне резонанс вызывают именно авиакатастрофы с большим количеством жертв, попавшие в средства массовой информации. Однако дистанция между авиационным происшествием, или даже предпосылкой к нему типа посадки с превышением допустимой перегрузки в одном случае окажется лишь в служебной информации, а в другом приведет к разрушению опоры шасси и катастрофе, показанной по телевизору. При этом первопричиной в обоих случаях окажется человеческий фактор — ошибка пилотирования при посадке — который только и можно пытаться приписать внешним факторам.

Проведем дополнительный анализ данных по авиационным происшествиям, представленным в открытом банке данных на сайте <http://aviation-safety.net>. Для анализа выберем массовые типы самолетов — Boeing-707, 737; Douglas DC-3; DHC-6 и C130 (табл. 1). Эти типы эксплуатируются по всему миру, в самых разных климатических условиях и экипажами всех национальностей и разного уровня подготовки.

Выдвигаем гипотезу о связи факторов космической погоды с АП самолетов данных типов. Считаем, что гелиогеофизические факторы влияют на пилотов, но не на технику и одинаково влияют на человека любой расы и национальности. В таком случае в рядах данных АП для разных типов самолетов должны присутствовать одинаковые периодические компоненты, гипотетически связанные с солнечной или магнитной активностью, имеющей циклическую природу.

Таблица 1. Данные по авиапроисшествиям* для массовых типов самолетов

Тип самолета	Год начала производства	Интервал времени анализа	Число произведенных	Число АП в базе данных
DC-3	1934	1946–2009	>13000	2913
Boeing-707	1954	1959–2009	858	238
Boeing-737	1967	1969–2010	5873+ (продолжается)	302
DHC-6	1965	1967–2010	844+ (продолжается)	293
C-130	1954	1958–2010	2041+	298

Примечание: * открытый банк данных на сайте <http://aviation-safety.net>.

Вместо осреднений воспользуемся методикой, разработанной и представленной в работах [Любушин, 1989, 2007] для выявления скрытых периодичностей в потоке событий. С помощью данной методики были рассчитаны приращения логарифмической функции правдоподобия, являющейся обобщением понятия спектра для последовательности событий. Результаты представлены в табл. 2. Дополнительно был выполнен по аналогичной методике расчет спектра для последовательности дней с магнитными бурями ($A_p > 40$ — всего 4327 дней из 23724 с 1 января 1945 г. по 31 декабря 2009).

Главным результатом является несовпадение набора характерных частот для всех анализируемых типов самолетов. Только для DC3 и Boeing-707 находится период близкий к 11-летнему циклу солнечной и геомагнитной активности. Прямая визуализация данных аварий этих пяти типов самолетов не дает никаких совпадений. Считать, что только пилоты этих двух типов были подвержены влиянию факторов космической погоды, в то время как пилоты других типов не страдали от аналогичных механизмов воздействия, было бы слишком смелой гипотезой. Аварийность каждого типа имеет свою цикличность, связанную, с нашей точки зрения, с эволюцией сложной системы “человек—машина” в процессе эксплуатации, уточнением руководства по летной эксплуатации, типа самолета и его технической модификации, качественными технологическими скачками в оборудовании аэропортов системами инструментальной посадки, исключаящими какие-либо факторы, ведущие к ошибкам пилотирования, и, одновременно, создающими предпосылки к дру-

гим ошибкам, устраняемым на очередном этапе развития техники. Все эти процессы объясняют и экспоненциальный спад аварийности на воздушном транспорте, и сезонный ход, объясняемый интенсивностью авиаперевозок и низкой технологической дисциплиной (спешкой) на чартерных перевозках.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Настоящее исследование, выполненное на основании использования весьма полной базы данных об авиапроисшествиях и современных методов статистического анализа, еще раз показало отсутствие статистических значимых связей между факторами космической погоды и АП.

2. Существует целый ряд обстоятельств, не связанных с гелиогеомагнитными факторами, как бы они подробно и разнообразно не описывались, которые, с одной стороны, объясняют все обнаруженные закономерности в поведении АП, а, с другой, позволяют сделать вывод о бесперспективности дальнейших поисков взаимосвязей между АП и солнечной и магнитной активностями, во всяком случае, на современном этапе.

Последнее общефизическое соображение. Авиапроисшествия происходят на высотах тропосферы (в основном в приземных слоях атмосферы). Влияние космической погоды на параметры тропосферы, включая погоду и климат на земле, до сих пор окончательно не выявлено [Pitcock, 1978], хотя в последние годы интенсивно обосновывается и противоположная точка зрения (см., например, [Пудовкин и Распопов, 1992; Авдюшин и Данилов, 2000; Жеребцов и др., 2008]). Проблема действительно очень актуальная, но и весьма дискуссионная. Наши результаты, не имеющие прямого отношения к этой проблеме, все-таки ближе к первой точке зрения. Если придерживаться другой позиции, то при анализе АП всегда следует учитывать метеоусловия (что в принципе делается, но только для приземных слоев атмосферы), и изменения параметров тропосферы (давления, плотности, оптических и электрических характеристик) с возможным последующим их влиянием на авиационную технику. Исследования для каждого АП или групп АП должно жестко проводится по цепочке: факторы

Таблица 2.

Тип самолета	Идентифицированные периоды, годы
DC3	2.4; 2.7; 4.9; 9.4; <u>10.9</u> ; 13.8; 16.4;
C130	0.4; 3.4; 6.4; 12
DHC6	0.9; 4.4
B707	7.1; <u>10.8</u> ; 15
B737	3.9
Магнитные бури с $A_p > 40$	5.2; 7.6; 8.4; 8.8; 9.9; 10.1; <u>10.9</u>

космической погоды—параметры тропосферы—авиапроисшествия. Из-за отсутствия исходных данных и неопределенностей в определении физических механизмов влияния космической погоды на тропосферу и приземные слои воздуха, такие исследования сейчас и в будущем осуществить не реально.

Тема безопасности авиаперевозок затрагивает большое количество людей и поэтому необходимо иметь в виду и тот факт, что анализ опубликованных материалов расследований авиакатастроф показывает одно и то же — если не было технических отказов, пожаров и взрывов, то причина катастрофы — грубое нарушение руководств по летной эксплуатации. Спешка пилота, желание рискнуть, экономические соображения — все эти факторы должны устраняться, попытка же списать безалаберность и недисциплинированность людей на магнитные бури и вспышки на Солнце фактически выдает индульгенцию на будущие нарушения, как на нечто “сверхъестественное”, действующее на человека независимо от его воли.

Благодарим Н.Г. Клейменову за совет написать обобщающую статью по обсуждаемому вопросу, а не ограничиваться частными замечаниями по некоторым его аспектам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- *Авдюшин С.И., Данилов А.Д.* Солнце, погода и климат: сегодняшний взгляд на проблему (обзор) // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 40. № 5. С. 3–14. 2000.
- *Бранд З.* Анализ данных. М.: Изд. “Мир”, “АСТ”. 686 с. 2003.
- *Витязев В.В.* Спектрально-корреляционный анализ временных рядов. С.-Пб.: Изд. С.-Пб. ун-та. 48 с. 2001.
- *Гмурман В.Е.* Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Изд. “Высшая школа”. 480 с. 1999.
- *Елисеева И.И., Юзбашев М.М.* Общая теория статистики. М.: Изд. “Финансы и статистика”. 480 с. 1999.
- *Жеребилов Г.А., Коваленко В.А., Молодых С.И., Рубцова О.А., Васильева Л.А.* Влияние гелиогеофизических возмущений на термобарические и климатические характеристики тропосферы Земли // Космич. исслед. Т. 46. № 4. С. 368–377. 2008.
- *Зенченко Т.А., Мерзлый А.М., Кужевский Б.М.* Эффекты смены полярности межпланетного магнитного поля в динамике авиационных происшествий // Мат. Межд. Конф. “Космическая погода: ее влияние на человека и биологические объекты”. 17–18 февраля 2005. Москва. М.: Изд. “Репроцентр-М”. С. 46–47. 2006.
- Каталог индексов солнечной и геомагнитной активности. Обнинск. ВНИИГМИ — МЦД. 147 с. 1979.
- *Кища П.В., Иванов-Холодный Г.С., Ишков В.Н. и др.* Авиационные аварии — географическое распределение и связь с солнечной активностью // Сб. трудов 7-го симпоз. по солнечно-земной физ. России и стран СНГ. г. Троицк: Изд. “ПИЯФ РАН”. С. 222–224. 1999.
- *Козлов С.И.* Оценки статистических связей между гелиомагнитными факторами и страховыми случаями и выплатами в космической деятельности // Страховое дело. № 11. С. 21–28. 2001.
- *Комаров Ф.И., Ораевский В.Н., Сизов Ю.П. и др.* Гелиогеофизические факторы и авиационные происшествия // Биофизика. Т. 43. № 4. С. 742–745. 1998.
- *Леонов В.П., Ижевский П.В.* Применение статистики в медицине и биологии: анализ публикаций 1990–1997 гг. // Сибирский медицинский журнал. № 3–4. С. 64–74 (см. также <http://mediasphera.ru/mjimp/2002/3/r3-02-1.htm>). 1997.
- *Ляхов А.Н., Козлов С.И.* О связи летных происшествий с солнечной и геомагнитной активностью // Тр. ИДГ РАН “Геофизические процессы в нижних и верхних оболочках Земли”. Кн. 2. М.: Изд. ИДГ РАН. С. 312–319. 2003.
- *Ляхов А.Н., Козлов С.И., Смирнова Н.В.* О возможном влиянии солнечной и магнитной активности на летные происшествия // Тр. 3-ей Всерос. конф. “Физические проблемы экологии”. Вып. 7. М.: МГУ. С. 20–28. 2001.
- *Любушин А.А.* Анализ данных систем геофизического и экологического мониторинга. М.: Наука. 228 с. 2007.
- *Любушин А.А., Писаренко В.Ф., Ружич В.В., Буддо В.Ю.* Выделение периодичностей в сейсмическом режиме // Вулканология и сейсмология. № 1. С. 62–76. 1998.
- *Пудовкин М.И., Распопов О.М.* Механизмы воздействия солнечной активности на состояние нижней атмосферы и метеопараметры // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 32. № 5. С. 1–10. 1992.
- *Ривин Ю.Р.* Циклы Земли и Солнца. М.: Наука. 165 с. 1989.
- *Черняев А.П.* Авиакатастрофы. М.: МАИ. Межд. акад. информатизации. 1966.
- *Чижевский А.А.* Земное эхо солнечных бурь. 2-ое изд. М.: Изд. “Мысль”. 367 с. 1976.
- *Kozlov S.I.* Statistical relations between geomagnetic parameters and the number of insurance cases and amount of insurance payments in space activity // Int. J. Geomagn. Aeronomy. V. 6. G11008. doi:10.1029. 2005.
- *Kozlov S.I., Lyakov A.N. et al.* The directions of development of Vernadskiy and Chizevsky ideas in the XXI century // Proc. 3rd Intern. Conf. INTERNAS–2007 “Advances in modern natural sciences”. Kaluga, Russian, May 22–25 2007. Изд. КГПУ, Калуга. С. 108. 2007.
- *Lyakhov A.N., Kozlov S.I.* Whether aviation accidents can be dependent on the solar activity? // Int. Heliophys. Year: New insights into Solar-Terr. Phys. (IHU2007-NISTP). November 5–11, 2007. Zvenigorod, Mosc. reg. Russia. Troitsk, Mosc. reg.: IZMIRAN. P. 73. 2007.
- *Pittock A.B.* A critical look at long-term sun-weather relationship // Rev. Geophys. Space Phys. V. 16. P. 400–420. 1978.
- *Schwimbersky K., Cermack M., Rycroft M.* Влияет ли геомагнитная активность на частоту авиационных катастроф? // Мат. Межд. Конф. “Космическая погода: ее влияние на человека и биологические объекты”. 17–18 февраля 2005. Москва. М.: Изд. “Репроцентр — М”. С. 63. 2006.
- Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents. Worldwide Operations 1959–2007. USA. Seattle. 23P (<http://www.boeng.com/news/techissnes>). 2008.