

## О ВОЗМОЖНОСТИ АНАЛИЗА ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ОБЩИМ СОДЕРЖАНИЕМ ОЗОНА И СУММАРНОЙ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИЕЙ НА ДВИЖУЩИХСЯ ПЛАТФОРМАХ

канд. геогр. наук *Е.Н.РУСИНА*, канд. геогр. наук, *В.Ф.РАДИОНОВ*,  
канд. физ.-мат. наук *Е.Е.СИБИР*

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, [elnikrus@mail.ru](mailto:elnikrus@mail.ru)

*В работе рассматривается вопрос о возможности корректного совместного анализа и сопоставления результатов многолетних наблюдений за варьирующимися в пространстве и времени характеристиками состояния атмосферы, производимых на различных движущихся платформах (ДП), в том числе на дрейфующих станциях и научно-экспедиционных судах (НЭС). Для ДП такая вариабельность приводит к статистической неоднородности полученных на каждой ДП рядов наблюдений и препятствует их совместному анализу. Применительно к измерениям общего содержания озона (ОСО) [Русина, Генихович, 2010] рассматривалось преобразование переменных, в результате которого были получены однородные ряды данных как для отдельных ДП, так и для их совокупности. Такой способ сопоставления данных измерений на ДП позволяет исключить естественные годовой ход и систематическую компоненту пространственной неоднородности анализируемых характеристик и корректно сравнить данные наблюдений, полученные в разное время и в различных регионах Земли. При этом могут быть выделены два режима, в одном из которых исследуемые характеристики оказались в пределах нормы, а во втором наблюдались их возможные существенные аномалии.*

*Целью настоящей работы является подтверждение целесообразности и эффективности применения этого подхода как для ОСО (с использованием материалов дополнительных наблюдений за ОСО на НЭС «Академик Федоров» в 2008–2010 гг.), так и для суммарной солнечной радиации (при анализе и сопоставлении месячных сумм суммарной радиации на дрейфующих станциях, работавших в Арктическом бассейне в 1954–1991 и 2007–2009 гг.).*

*Ключевые слова:* движущиеся платформы, научно-экспедиционные суда, дрейфующие станции, общее содержание озона, месячные суммы суммарной радиации.

### ВВЕДЕНИЕ

В течение многих лет в рамках системы мониторинга общего содержания озона и радиационных параметров в атмосфере полярных областей производятся измерения соответствующих характеристик на научно-экспедиционных судах (НЭС) и на дрейфующих станциях «Северный полюс» (СП), т.е. на движущихся измерительных платформах (ДП) [Маршунова, Мишин, 1994; Радионов, Русина, 2006]. При наблюдениях на ДП в рядах наблюдений, помимо естественной изменчивости исследуемых характеристик, появляется составляющая изменчивости, вызываемая перемещением ДП в пространстве и времени. В отличие от измерений в стационарных пунктах, каждое отдельное значение в рядах измерений на ДП характеризует изменение рассматриваемого параметра по отношению к соответствующим статистическим характеристикам («средним значениям») не для фиксированной точки, а для различных участков траектории движения. При этом наличие в измеряемых величинах компоненты с систематической пространственно-временной изменчивостью (на пример, годового и широтного хода) приводит к статистической неоднородности

полученных рядов наблюдений и затрудняет применение стандартного статистического аппарата для анализа данных наблюдений на отдельной или нескольких ДП.

В работе [Русина, Генихович, 2010] было рассмотрено преобразование переменных, позволяющее исключить влияние на измеряемые значения этой систематической изменчивости и решить задачу анализа и интерпретации данных наблюдений. Использованный метод был апробирован на примере судовых наблюдений за общим содержанием озона (ОСО). Он основан на одном из вариантов общей методологии обработки метеорологических полей с учетом их пространственно-временной неоднородности и позволяет совместно анализировать и сопоставлять уровни ОСО, которые получены по данным измерений на ДП.

Настоящая работа выполнена в продолжение исследований, начатых в [Русина, Генихович, 2010]. В дополнение к измерениям ОСО, такой же, как и в [Русина, Генихович, 2010], подход применяется к результатам измерений суммарной солнечной радиации (ССР). В статье анализируются данные многолетних наблюдений за ОСО на дрейфующих станциях СП-32 и СП-33 в 2003–2005 гг. и в рейсах НЭС «Академик Федоров» в 2004–2010 гг., а также месячные суммы ССР которые определялись на станциях СП-3–СП-31, дрейфовавших в Арктическом бассейне (АБ) с 1954 по 1991 г., а также на станциях СП-35 и СП-36, работавших в 2007–2009 гг.

#### **СОПОСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ОСО НА ДВИЖУЩИХСЯ ПЛАТФОРМАХ**

Как известно, для общего содержания озона характерны значительные широтные и сезонные вариации [Брасье, Соломон, 1987; Звягинцев и др., 2009; Радионов, Русина, 2006; Радионов и др., 2007; Сыроваткина и др., 2008; Хргиан, 1973; Шаламянский и др., 2004; Ogunjobi, 2007].

Во все сезоны года в Северном полушарии широтное распределение озона имеет максимум в поясе 70–75° с.ш. Этот максимум наиболее выражен зимой и весной. Сезонные колебания наиболее заметно начинают проявляться к северу от 30° с.ш. В Южном полушарии максимум меньше по амплитуде, расположен около 50° ю.ш. и наблюдается более ранней весной. Область от 35° с.ш. до 35° ю.ш. является областью сравнительно малых значений ОСО.

В Антарктиде, как правило с августа по ноябрь, наблюдается значительная отрицательная аномалия ОСО – «озоновая дыра» [Радионов, Сибир, 2000; Сибир, 2007; Stolarski et al., 2005]. В Арктике эпизодически также стало отмечаться подобное явление, хотя и меньшее по интенсивности [Christensen et al., 2005; Goutail et al., 2005; Newman et al., 1997]. Особенно заметно оно проявилось в отдельные зимы 1990-х и 2000-х гг. [см., например, Manney et al., 2003; Rex et al., 1997]. Последнее падение значений ОСО в Арктике, по величине сравнимое с антарктической озоновой дырой, пришлось на март 2011 г. [Manney et al., 2011].

Различия между полярными областями сильнее всего выражены весной и сглаживаются в летний период [Радионов и др., 2007; Хргиан, 1973].

Наличие годового и широтного хода в Арктике фактически означает, что средние значения ОСО могут изменяться по мере движения измерительной платформы или различаться при сравнении результатов измерений на двух и более платформах, если пространственно-временные масштабы, характеризующие движение платформы или платформ, сопоставимы с соответствующими масштабами естественной изменчивости ОСО.

Основной проблемой при сравнении данных измерений, полученных на ДП, является нестационарность и неоднородность соответствующих временных рядов, что затрудняет применение методов статистической обработки данных, обычно используемых при анализе случайных процессов и полей [Дроздов, 1989; Каган,

1979; Пугачев, 1979; Murphy, Katz, 1985]. В такой ситуации следует использовать преобразование рядов наблюдений, обеспечивающее их однородность. С этой целью, как правило (см., например, [Murphy, Katz, 1985]), в процессе статистического анализа от исходных измеренных значений ( $x_i$ ) переходят к их аномалиям ( $K_i = x_i - x_{cp}$ ), т.е. к отклонениям от соответствующих средних («норм») в тех же пространственно-временных точках, а рассчитанные разности нормируют на соответствующие стандартные отклонения  $\sigma_i$ . Полученная при этом случайная переменная (нормированная аномалия  $K = K_i / \sigma_i$ ) характеризуется средним значением, равным нулю, и стандартным отклонением, равным единице.

При расчете нормированных аномалий, однако, необходимо заранее знать пространственно-временное распределение полей норм и стандартных отклонений. С учетом того, что стандартные отклонения определяются через вторые моменты (дисперсии) случайной величины и потому более чувствительны к ошибкам и погрешностям измерений, чем поле норм, для практических применений целесообразно использовать преобразование, которое не связано непосредственно с определением поля стандартных отклонений. Для рассматриваемых переменных анализ результатов натуральных измерений показал (см., например, [Ogunjobi, 2007]), что их коэффициенты вариации, равные отношению их стандартных отклонений к средним значениям, сравнительно слабо меняются в годовом ходе. Тогда преобразование, заключающееся в нормировании ряда аномалий на их средние значения в годовом ходе, соответствующие рассматриваемой точке пространства, или, что то же самое, к переходу от значений исходных переменных к значениям их относительных аномалий  $K$ , обеспечивает приближенную однородность получаемого ряда (среднее значение и стандартное отклонение для которого будут равны нулю и некоторой константе соответственно). Но даже в этом случае преобразование слишком громоздко, поскольку для его применения требуется иметь информацию о широтно-долготном распределении характеристик годового хода поля «норм». Поэтому, следуя [Русина, Генихович, 2010], мы применяем упрощенное преобразование, в котором используются осредненные значения характеристик годового хода ОСО, соответствующие определенным широтным поясам.

Эти средние значения были рассчитаны по данным наблюдений ОСО на 84 стационарных станциях с наиболее длинными рядами наблюдений по 2008 г. включительно, заимствованным из архива Мирового центра данных по озону и ультрафиолетовой радиации (WOUDC) в Канаде (<http://www.woudc.org/>). Станции были сгруппированы по следующим широтным поясам: 0–23°; 24–40°; 41–60°; 61–90° для Северного и Южного полушарий. Границы поясов выбирались так, чтобы пояса были симметричны относительно экватора, а в каждом из поясов находилось не менее четырех станций. Последнее особенно важно для Южного полушария, где количество длиннорядных станций мало по сравнению с Северным полушарием, в котором число таких станций может достигать 26 в одном поясе.

В табл. 1 приведены рассчитанные для каждого из выбранных поясов среднемесячные значения ОСО, используемые далее в качестве «норм» при совместном анализе наблюдений за ОСО на ДП. Периоды наблюдений и граничные координаты движения платформ приведены в табл. 2.

Справедливости ради следует заметить, что в табл. 1 в широтном поясе 61–90° с.ш. в конце зимы—начале весны не проявляется зимний арктический минимум ОСО. По всей вероятности, этому есть несколько причин. Во-первых, этот пояс охватывает достаточно большой интервал по широте, во-вторых, для осреднения использовались станции с самыми длинными рядами наблюдений, а зимние «арктические озоновые дыры» не наблюдались постоянно и во всем широтном поясе. Таким образом, при расчете «норм» ОСО этот эффект замечен не был.

Таблица 1

**Среднемесячные значения ОСО (е.Д.) для широтных поясов  
0–23°; 24–40°; 41–60°; 61–90° северной и южной широты**

Месяц	90–61° с.ш.	60–41° с.ш.	40–24° с.ш.	23–0° с.ш.	0–23° ю.ш.	24–40° ю.ш.	41–60° ю.ш.	61–90° ю.ш.
1	322	342	300	244	255	268	285	283
2	367	365	310	248	254	265	270	274
3	395	374	320	256	254	264	270	269
4	396	374	324	264	254	263	274	266
5	375	360	320	268	254	264	281	276
6	344	342	309	268	254	273	298	277
7	321	325	294	266	257	283	309	277
8	303	311	289	264	261	292	316	232
9	291	299	281	262	265	304	315	190
10	293	291	277	258	269	305	326	201
11	296	299	277	250	265	295	322	258
12	330	316	286	246	260	280	296	293

Таблица 2

**Периоды наблюдения за ОСО и районы работ на движущихся платформах**

№	Название платформы	Начало наблюдений	Окончание наблюдений	Широты	Долготы
1	СП-32	1.07.2003	30.09.2003	85,9–87,8° с.ш.	44,8–81,9° в.д.
2	«Академик Федоров», рейс № 21	1.08.2004	30.09.2004	62,8–85,1° с.ш.	5–166,1° в.д.
3	СП-33	1.04.2005	4.09.2005	86,3–89,2° с.ш.	40,2–99,2° з.д.
4	«Академик Федоров», рейс № 23	5.09.2005	23.06.2005	73,7–88,3° с.ш.	170,1° в.д.– 36,8° з.д.
5	«Академик Федоров», рейс № 24	21.11.2005	2.05.2006	58,6° с.ш.– 69,6° ю.ш.	76,4° в.д.– 21,2° з.д.
6	«Академик Федоров», рейс № 25	14.11.2006	26.12.2006	46,2° с.ш.– 69,1° ю.ш.	92,9° в.д.– 18,0° з.д.
7	«Академик Федоров», рейс № 26	29.07.2007	17.09.2007	72,6–90,0° с.ш.	179,6° в.д.– 0°–174,6° з.д.
8	«Академик Федоров», рейс № 27	17.11.2007	5.03.2008	33,1° с.ш.– 77,6° ю.ш.	175,0° в.д.– 0°–73,0° з.д.
9	«Академик Федоров», рейс № 28	18.08.2008	21.09.2008	67,1 82,6° с.ш.	176,6° в.д.– 0°–178,7° з.д.
10	«Академик Федоров», рейс № 29	5.11.2008	14.05.2009	81–86° с.ш.	69–119° в.д.
11	«Академик Федоров», рейс № 30	1.11.2009	21.05.2010	74–79° с.ш.	158° в.д.– 0°–122° з.д.
12	«Академик Федоров», рейс № 31	15.07.2010	24.10.2010	72–79° с.ш.	155–131° з.д.

Расчет относительных аномалий ОСО осуществлялся по формуле:

$$K = (X_i - X_{\text{норма}}) / X_{\text{норма}} \quad (1)$$

где  $X_i$  – среднесуточное значение ОСО для данного дня наблюдений,  $X_{\text{норма}}$  – среднее поясное значение («норма») ОСО для месяца, к которому относился рассматриваемый день наблюдений (табл. 1).

Для полученного ряда безразмерных аномалий  $K$ , приведенного на рис. 1, состоящего из 897 членов, выборочная оценка среднего значения  $K_{cp}$  составила 0,0001 и соответствующее стандартное отклонение  $\sigma = 0,111$ . Близость к нулю среднего значения  $K$  свидетельствует о «несмещенности» оценок.

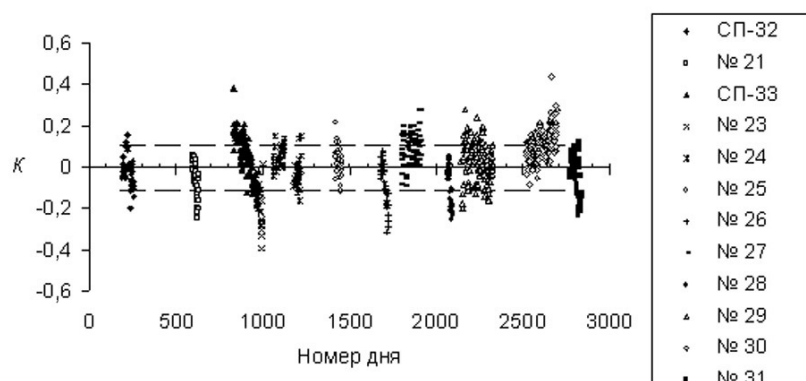


Рис. 1. Значения относительных аномалий  $K$  общего содержания озона, полученные на движущихся платформах в периоды десяти рейсов НЭС «Академик Федоров» и дрейфа станций СП-32 и СП-33 в зависимости от номера дня наблюдений начиная с 1 января 2003 г.

На рассчитанных значениях относительных аномалий  $K$  для ОСО систематическая пространственно-временная изменчивость практически не сказывается. На рис. 1 по оси ординат нанесены значения относительных аномалий  $K$ , а по оси абсцисс — последовательные номера дней наблюдений начиная с 1 января 2003 г. Первое значение  $K$  соответствует 12 июля 2003 г., то есть дню № 193. Пунктиром показан интервал отклонений  $K_{cp} \pm \sigma$ .

Значения относительных аномалий в большинстве случаев укладываются в интервал  $K_{cp} \pm \sigma$ , т.е. с учетом выполненного преобразования измеренные значения ОСО значимым образом не отличаются от «норм» ОСО, характерных для рассматриваемого широтного пояса и соответствующего времени года (табл. 1). Однако существуют периоды, когда за границы интервала  $\pm\sigma$  выходят не только отдельные значения, но и целые группы относительных аномалий. Так было установлено, что в период ряда рейсов НЭС «Академик Федоров» на север (№ 21, 23, 26 и 28) в сентябре 2004, 2005, 2007 и 2008 гг. имели место отрицательные выбросы относительных аномалий, то есть в Арктике наблюдались пониженные по сравнению с «нормой» значения общего содержания озона.

Наиболее существенные положительные выбросы  $K$  (повышенные значения ОСО) отмечались в период с 10 апреля по 18 мая 2005 г. на СП-33 в Арктике, а также во время 27-го рейса НЭС «Академик Федоров» в Антарктиду (отдельные группы дней за период с 1 января по 3 марта 2008 г.) [Русина, Генихович, 2010].

Дополнительно проанализированные в настоящей работе материалы относятся к трем рейсам НЭС «Академик Федоров» — № 29, 30 и 31 (табл. 2, рис. 1). Во время рейса № 29 в Антарктику отмечались как отрицательные, так и положительные выбросы относительных аномалий. Наиболее значительные положительные выбросы, соответствующие превышению значений ОСО над рассчитанной «нормой», во время 29-го рейса были зарегистрированы 20–27 ноября, 12–16 декабря 2008 г., а также в отдельные дни января–марта 2009 г.

Во время 30-го рейса НЭС «Академик Федоров» в Антарктику отрицательных выбросов относительных аномалий зафиксировано не было. Наиболее продолжительные периоды выбросов положительных относительных аномалий приходятся на 7–21.12.2009, 28.01.2010–19.02.2010, а также на 6.04–10.05.2010.

В период 31-го рейса НЭС «Академик Федоров» в Арктику в 2010 г. большинство вычисленных относительных аномалий  $K$  значимым образом не отличались от «норм» ОСО. Положительных выбросов  $K$  вообще не наблюдалось. Зато с 6 по 17 сентября

2010 г. и с 25 сентября по 5 октября 2010 г. в интервале широт 80–87° с.ш. были зарегистрированы отрицательные выбросы относительных аномалий ОСО (рис. 1).

Значимые отклонения  $K$  от «норм» могут быть связаны с особенностями пространственного распределения ОСО в конкретный год. Выявление причин таких значительных отличий требует специальных дополнительных исследований, что не входит в задачу данной работы. Отметим лишь, что предлагаемый подход к анализу данных натурных наблюдений на движущихся платформах как раз и позволяет выделять такие «подозрительные» аномальные случаи.

#### СОПОСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СУММАРНОЙ РАДИАЦИИ НА ДРЕЙФУЮЩИХ СТАНЦИЯХ

Суммарная солнечная радиация (ССР) в Арктике определяется прозрачностью атмосферы, количеством и типом облачности и, отчасти, свойствами подстилающей поверхности [Гаврилова, 1963; Маршунова, Мишин, 1994; Черниговский, Маршунова, 1965; Marshunova, 2000]. Пространственное распределение месячных сумм ССР весной и осенью в основном носит широтный характер, а в период полярного дня определяется пространственным распределением облачности.

С мая по август минимум ССР наблюдается в западных районах, прилегающих к Баренцеву и Норвежскому морям, т.е. в районах максимальной облачности. В этот же период над паковыми льдами Арктического бассейна суммарная радиация возрастает из-за многократного отражения [Маршунова, Мишин, 1994].

Дрейф станций СП происходил, как правило, севернее 70° с.ш. В связи с этим мы не стали использовать в качестве «норм» средние месячные значения для отдельных широтных поясов. За «нормы» были приняты средние значения месячных сумм суммарной радиации для каждого месяца, рассчитанные по всем дрейфующим станциям от СП-3 до СП-36 за весь период наблюдений.

Следует, однако, отметить, что распределение месячных сумм суммарной радиации над Арктическим бассейном очень неоднородно [Marshunova, 2000], особенно в летние месяцы. Поэтому, чтобы удостовериться в правомерности выбранного способа расчета «норм» для месячных сумм ССР, мы сравнили эти средние многолетние значения с величинами, полученными осреднением месячных сумм ССР в узлах координатной сетки, опубликованными в [Маршунова, Мишин, 1994]. Последние отражают неоднородность распределения величин ССР в разные месяцы над Арктическим бас-

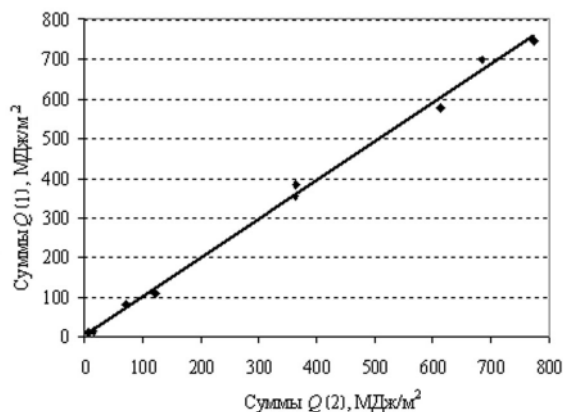


Рис. 2. Корреляционная зависимость между осредненными месячными суммами ССР, на рисунке фигурирующими как  $Q$  [1] (МДж/м<sup>2</sup>), рассчитанными по [Маршунова, Мишин, 1994], и «нормами» для месячных сумм  $Q$  [2], используемыми в данной работе

сейном. Полученные двумя способами средние значения за каждый месяц приведены на рис. 2. Коэффициент корреляции между ними составляет 0,99. Это подтверждает правомочность использования выбранных нами «норм» для дальнейших расчетов.

Относительные аномалии месячных сумм ССР вычислялись по формуле:

$$K_{Qi} = (Q_i - Q_{\text{норм}, i}) / Q_{\text{норм}, i} \quad (2)$$

где  $Q_i$  – месячная сумма ССР для конкретного  $i$ -го месяца для рассматриваемой дрейфующей станции,  $Q_{\text{норм}, i}$  – средняя месячная сумма ССР («норма») для данного месяца, полученная по всем дрейфующим станциям за весь период наблюдений,  $K_{Qi}$  – относительная аномалия  $Q$  для данного месяца и данной СП.

Рассчитанные «нормы» для месячных сумм ССР с марта по октябрь приведены в табл. 3. Здесь же указаны их стандартные отклонения,  $\sigma$ , и количество значений,  $n$ , по которым они рассчитывались. В январе–феврале и ноябре–декабре в период полярной ночи в пределах Арктического бассейна суммарная радиация практически отсутствует. В феврале месячная сумма ССР составляет 0–2 % годовой суммы [Marshunova, 2000].

Для многолетнего ряда безразмерных относительных аномалий  $K_{Qi}$  сумм суммарной радиации, построенного по всему рассматриваемому массиву и считающемуся 519 членом, выборочная оценка среднего значения составила  $-0,04$ , а соответствующего стандартного отклонения  $\pm 0,35$ . Близость к нулю среднего значения  $K_Q$  свидетельствует о несмещенности оценки.

Таблица 3

«Нормы» для месячных сумм ССР,  $Q_{\text{норм}, i}$  (МДж/м<sup>2</sup>), их стандартные отклонения,  $\sigma$ , и количество значений,  $n$ , по которым производилось осреднение, по данным дрейфующих станций

Месяц	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
$Q_{\text{норм}, i}$	71	365	684	773	613	364	122	16
$\sigma$	40,3	53,7	47,2	80,1	62,3	61,3	33,9	13,5
$n$	60	49	62	65	71	70	69	52

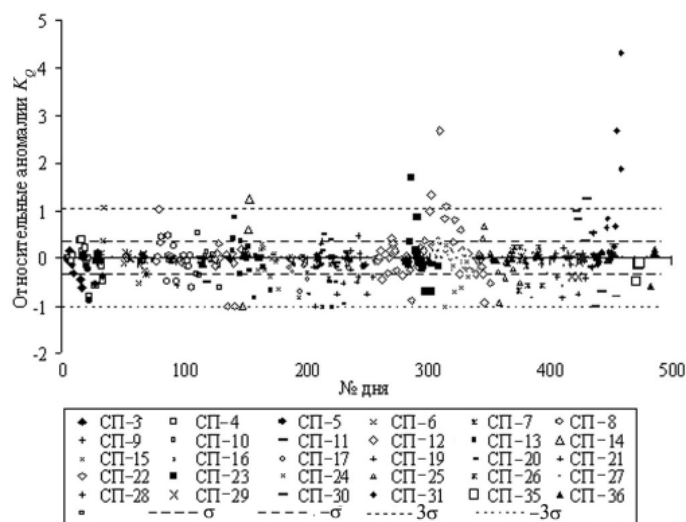


Рис. 3. Многолетняя изменчивость относительных аномалий  $K_{Qi}$  месячных сумм суммарной радиации, полученных на дрейфующих станциях СП-3 – СП-31 (1954–1991 гг.) и СП-35 и СП-36 (2007–2009 гг.). Первая точка на графике под № 5 соответствует маю 1954 г. Пунктирные короткие прямые указывают границы доверительного интервала  $\pm 3\sigma$

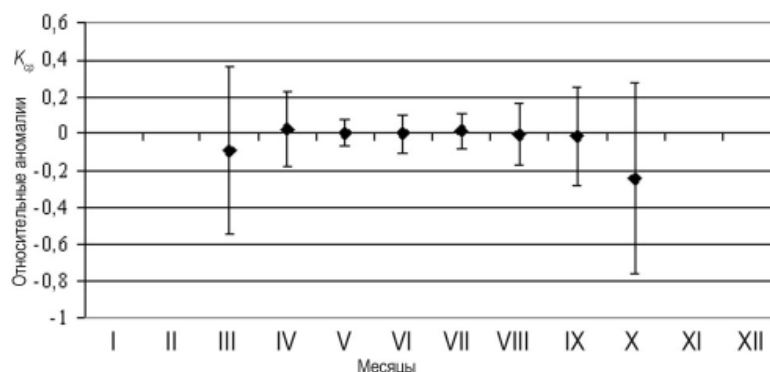


Рис. 4. Годовой ход среднемесячных относительных аномалий  $K_{ср}$ . «Усами» показаны их стандартные отклонения  $\pm\sigma$

При анализе многолетней изменчивости относительных аномалий  $K_{ср}$ , которые приведены на рис. 3, обращает на себя внимание то обстоятельство, что в ряде случаев их отклонения от среднего превышают  $3\sigma$ . Это может быть связано как с неоднородностью поля суммарной радиации в Арктическом бассейне [Marshunova, 2000], так и с особенностями поля суммарной радиации в конкретный год.

При использовании нормировки (2) для расчета относительных аномалий  $K_{ср}$  можно ожидать, что эти аномалии не будут характеризоваться выраженным годовым ходом. Для подтверждения этого для каждого месяца были рассчитаны средние значения  $K_{ср}$  и стандартные отклонения  $\pm\sigma$ . Результаты этих расчетов представлены на рис. 4. Так же, как и на рис. 2, для января, февраля, ноября и декабря соответствующие значения не приводятся, поскольку в эти месяцы суммы суммарной радиации на дрейфующих станциях не определялись из-за полярной ночи. При этом заметим, что максимальная изменчивость относительных аномалий (рис. 4) приходится на март и октябрь, т.е. месяцы, которым соответствует сравнительно незначительный вклад в суммарную годовую радиацию.

Для оценки тенденций многолетней изменчивости прихода солнечной радиации в Арктическом бассейне были рассчитаны восстановленные с учетом относительных аномалий значения месячных и годовых сумм суммарной радиации за каждый рассматриваемый год. Восстановленные месячные суммы определяются по формуле (3):

$$Q_{i, \text{восст}} = (1 + K_{ср}) Q_{\text{норм}, i}, \quad (3)$$

где  $K_{ср}$  — среднее за конкретный год значение относительной аномалии, полученное осреднением относительных аномалий месячных сумм  $K_{ср}$  (см. (2)) за указанный год.

Восстановленная годовая  $Q_{\text{год, восст}}$  сумма может быть определена как сумма восстановленных месячных сумм радиации  $Q_{i, \text{восст}}$  для рассматриваемого года, т.е. представлена в виде:

$$Q_{\text{год, восст}} = (1 + K_{ср}) Q_{\text{норм, год}} \quad (4)$$

Здесь  $Q_{\text{норм, год}}$  — годовая норма для месячных сумм суммарной радиации, полученная суммированием месячных норм, которые приведены в табл. 3. Восстановленные таким образом годовые суммы суммарной радиации свободны от влияния пространственно-временной изменчивости вдоль трассы дрейфа СП.

Межгодовая изменчивость восстановленных годовых сумм суммарной радиации, осредненных по результатам непрерывных наблюдений на СП за 1954–1991 гг., приведена на рис. 5 (жирная линия). На этом же рисунке для сравнения показаны годовые суммы  $Q$  для стационарных арктических станций (островов Визе, Диксон,



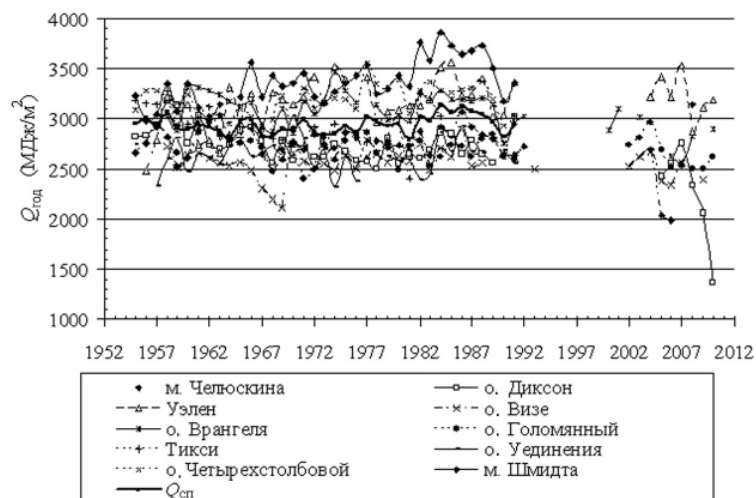


Рис. 5. Межгодовые вариации годовых сумм  $Q$  (МДж/м<sup>2</sup>) по данным стационарных и дрейфующих арктических станций за период 1954–1991 гг. и в первое десятилетие XXI в.

Уединения, Голомянный, м. Челюскина, Тикси, о. Четырехстолбовой, м. Шмидта, о. Врангеля и станции Уэлен), работавших в тот же период. На этом же рисунке нанесены значения годовых сумм ССР для ряда стационарных станций (о-вов Визе, Диксон, Голомянный, Врангеля, м. Челюскина и станции Уэлен), продолживших, после перерывов в 1990-е годы, наблюдения в первое десятилетие XXI в.

Из рис. 5 следует, что в 1954–1991 гг. восстановленные значения  $Q_{\text{год, восст}}$  по дрейфующим станциям полностью укладываются в пределы изменчивости годовых сумм суммарной радиации, полученных на стационарных станциях Арктики. Таким образом, можно считать, что восстановленные значения сумм суммарной радиации могут быть использованы в качестве характеристики радиационного режима Арктического бассейна в целом.

При этом за рассматриваемый период работы стационарных и дрейфующих станций, несмотря на существование отдельных периодов роста и уменьшения прихода суммарной радиации (рис. 5), значимые систематические тренды суммарной радиации не выявлены (что совпадает со сделанными ранее выводами по материалам наблюдений стационарных арктических станций [Радионон и др., 2007]) за исключением одной восточной станции – м. Шмидта. Для о-вов Визе, Уединения, Голомянный, м. Челюскина, Тикси, о. Врангеля и для восстановленной кривой ССР по дрейфующим станциям (т.е.  $Q_{\text{год, восст}}$ ) коэффициенты детерминации  $R_2^2$  не превосходят величины 0,08, а для о-вов Диксон, Четырехстолбовой и станции Уэлен значения  $R^2$  составляют 0,16; 0,11 и 0,25 соответственно. Единственная станция, на которой выявлено наличие сколь-либо заметного линейного тренда, – это станция м. Шмидта (коэффициент детерминации составил 0,45).

К сожалению, невозможно проследить тенденцию годовых сумм суммарной радиации в 1990-е гг. из-за перерыва в работе СП и систематических сбоев и пропусков в работе стационарных арктических станций. Даже после возобновления деятельности дрейфующих станций имеющих данных наблюдений в период дрейфа СП-35 и СП-36 в 2007–2009 гг. недостаточно для корректного восстановления годовых сумм  $Q$ . Тем не менее на рис. 5 показаны значения годовых сумм ССР за первую декаду XXI в. для нескольких работающих ныне арктических стационарных станций (о-ва Визе, Диксон, Голомянный, м. Челюскина, о. Врангеля

и Уэлен). Приведенные значения годовых сумм суммарной радиации практически не нарушают картины межгодовой изменчивости ССР предыдущего исследуемого периода наблюдений (1954–1991 гг.). Только на о. Диксон в 2008–2010 гг. отмечено существенное падение суммарной радиации, в причинах которого следует разбираться дополнительно.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная работа носит в основном методический характер и является продолжением и развитием исследований, начатых в [Русина, Генихович, 2010] и касающихся вопроса о корректном сопоставлении результатов измерений различных атмосферных характеристик, полученных на движущихся платформах. Рекомендованный для этого подход основан на расчете и анализе относительных аномалий этих характеристик. Он позволяет исключить естественные годовой ход и систематическую компоненту пространственной изменчивости анализируемых переменных и сравнить данные наблюдений, полученные на ДП в разное время и в различных точках пространства. При этом имеется возможность выделить два режима, в одном из которых указанные характеристики оказываются близкими к норме, а во втором наблюдаются их возможные существенные аномалии.

С помощью такого подхода были проанализированы и сопоставлены результаты многолетних наблюдений за ОСО на дрейфующих станциях СП-32 и СП-33 (2003–2005 гг.) и в периоды десяти рейсов НЭС «Академик Федоров» в Антарктиду и Арктику (2004–2010 гг.), а также результаты измерений месячных сумм суммарной солнечной радиации на дрейфующих станциях СП-3–СП-31 (1954–1991 гг.) и СП-35, СП-36 (2007–2009 гг.).

При исследовании временной изменчивости относительных аномалий ОСО над акваториями Атлантического и Южного океанов, а также над Арктическим бассейном в 2003–2010 гг. относительные аномалии средних дневных значений ОСО в большинстве случаев укладывались в интервал  $K_{cp} \pm \sigma$ , т.е. значимым образом не отличались от «норм» ОСО, характерных для рассматриваемого широтного пояса и соответствующего времени года. Для выяснения причин существенных отклонений от нормы, возможно связанных с особенностями пространственного распределения ОСО в конкретный год, необходимы дополнительные исследования.

Анализ многолетней изменчивости восстановленных годовых сумм суммарной радиации в Арктическом бассейне по данным измерений на дрейфующих станциях в 1954–1991 гг. не выявил систематического долгопериодного тренда  $Q$ . Это свидетельствует об относительной устойчивости поступления суммарной солнечной радиации в Арктике в целом, поскольку и по данным стационарных арктических береговых и островных станций в большинстве случаев систематический тренд суммарной радиации также отсутствовал. Исключение составила одна восточная станция – м. Шмидта.

Сравнение восстановленных значений годового прихода солнечной радиации  $Q$  на дрейфующих станциях и на стационарных арктических станциях за один и тот же период наблюдений показало, что эти значения полностью сопоставимы между собой и могут быть использованы для оценки многолетних изменений поступления суммарной радиации в Арктике. Результаты наблюдений за ССР, проводимые на стационарных арктических станциях в первом десятилетии XXI в., не опровергают данное утверждение.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брасье Г., Соломон С. Аэрономия средней атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 413 с.
2. Гаврилова М.К. Радиационный климат Арктики. Л.: Гидрометеиздат, 1963. 226 с.
3. Дроздов О.А. Климатология. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 568 с.

4. Звягинцев В.М. и др. Содержание озона на территории Российской Федерации в 2008 г. // Метеорология и гидрология. 2009. № 3. С. 102–110.
5. Каган Р.Л. Осреднение метеорологических полей. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 204 с.
6. Маршунова М.С., Мишин А.А. Справочник по радиационному режиму Арктического бассейна (дрейфующие станции). СПб.: Гидрометеиздат, 1994. 48 с.
7. Пугачев В.С. Теория вероятности и математическая статистика. М.: Наука, 1979. 495 с.
8. Радионов В.Ф., Русина Е.Н. Результаты измерения общего содержания озона в Центральном арктическом бассейне // Известия РАН. ФАО. 2006. Т. 42. № 5. С. 716–720.
9. Радионов В.Ф., Русина Е.Н., Сибир Е.Е. Специфика многолетней изменчивости суммарной солнечной радиации и характеристик прозрачности атмосферы в полярных областях // Проблемы Арктики и Антарктики. 2007. № 76. С. 131–136.
10. Радионов В.Ф., Русина Е.Н., Сибир Е.Е., Шаламянский А.М. Особенности общего содержания озона в северной и южной полярных областях // Проблемы Арктики и Антарктики. 2007. № 77. С. 64–72.
11. Радионов В.Ф., Сибир Е.Е. Особенности временной изменчивости общего содержания озона на российских антарктических станциях // Метеорология и гидрология. 2000. № 3. С. 100–103.
12. Русина Е.Н., Генихович Е.Л. Метод анализа данных об общем содержании озона при наблюдениях на движущихся платформах // Труды ГГО. 2010. Вып. 562. С. 61–75.
13. Сибир Е.Е. Общее содержание озона в Антарктиде в 2006–2008 гг. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2007. № 75. С. 152–154.
14. Сыроваткина О.А., Кароль И.Л., Шаламянский А.М., Клягина Л.П. Межгодовые особенности формирования полей общего содержания озона в высоких широтах Северного полушария в ноябре–марте 1998–2005 гг. // Метеорология и гидрология. 2008. № 2. С. 47–57.
15. Хргиан А.Х. Физика атмосферного озона. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 292 с.
16. Черниговский Н.Т., Маршунова М.С. Климат Советской Арктики (радиационный режим). Л.: Гидрометеиздат, 1965. 198 с.
17. Шаламянский А.М., Кароль И.Л., Клягина Л.П., Ромашкина К.И. Общее содержание озона над территорией Российской Федерации и прилегающих стран по 30-летним измерениям наземных станций // Метеорология и гидрология. 2004. № 8. С. 24–35.
18. Christensen T., Knudsen B.M., Streibel M., Andersen S.B., Benesova A., Braathen G., Claude H., Davies J., De Backer H., Dier H., Dorokhov V., Gerding M., Gil M., Henchoz B., Kelder H., Kivi R., Kyrö E., Litynska Z., Moore D., Peters G., Skrivankova P., Stübi R., Turunen T., Vaughan G., Viatte P., Vik A.F., Von der Gathen P., Zaitcev I. Vortex-averaged Arctic ozone depletion in the winter 2002/2003 // Atmos. Chem. Phys. 2005. Vol. 5. P. 131–138.
19. Goutail F., Pommereau J.-P., Lefèvre F., Van Roozendaal M., Andersen S.B., Kåstad Høiskar B.-A., Dorokhov V., Kyr E., Chipperfield M.P., Feng W. Early unusual ozone loss during the Arctic winter 2002/2003 compared to other winters // Atmos. Chem. Phys. 2005. Vol. 5. P. 665–677.
20. Manney, G. L. et al. Variability of ozone loss during Arctic winter (1991 to 2000) estimated from UARS Microwave Limb Sounder measurements. // J. Geophys. Res. 2003. Vol. 108. P. 4149–4163. <http://dx.doi.org/10.1029/2002JD002634> (2003).
21. Manney G.L., Santee M.L., Rex M., Livesey Nathaniel J., Pitts M.C., Veefkind P., Nash E.R., Wohltmann I., Lehmann R., Froidevaux L., Poole L.R., Schoeberl M.R., Haffner D.P., Davies J., Dorokhov V., Gernandt H., Johnson B., Kivi R., Kyrö E., Larsen N., Levelt P.F., Makshtas A., McElroy C.T., Nakajima H., Parrondo M.C., Tarasick D.W., Von der Gathen P., Walker K.A., Zinoviev N.S. Unprecedented Arctic ozone loss in 2011 // Nature. 2011. doi:10.1038/nature10556.3d.
22. Marshunova, M.S. The Solar Radiation Regime of the Arctic // Arctic Climatology Project, Environmental Working Group Arctic Meteorology and Climate Atlas /Edited by F.Fetterer and V.Radionov. Boulder, CO: National Snow and Ice Data Center. 2000. CD-ROM.
23. Murphy A.H., Katz R.W. (ed.). Probability, Statistics, and Decision Making in the Atmospheric Sciences. Boulder.: Westview Press, 1985. 545 p.
24. Newman P.A., Gleason J.F., McPeters R.D., Stolarski R.S. Anomalously low ozone over Arctic // Geophys. Res. Lett. 1997. Vol. 24. P. 2689–2692.

25. Ogunjobi K.O. Temporal and spatial patterns of interannual variability of total column ozone in Africa from ground-based observations // Research Journal of Applied Sciences. 2007. Vol. 2 (66). P. 666–672.
26. Rex M. et al. Prolonged stratospheric ozone loss in the 1995–96 Arctic winter // Nature. 1997. Vol. 389. P. 835–838.
27. Stolarski R.S., McPeters R.D., Newman P.A. The ozone hole of 2002 as measured by TOMS // J. Atmos. Sci. 2005. Vol. 62 (3). P. 716–720.

E.N.RUSINA, V.F.RADIONOV, E.E.SIBIR

### ON THE POSSIBILITY OF THE ANALYSIS OF THE DATA OF OBSERVATIONS OF THE TOTAL OZONE AND TOTAL SOLAR RADIATION ON MOVING PLATFORMS

*A question of possibility of the correct joint analysis and inter-comparison of data of long-term observations of varying in space and time characteristics of the state of the atmosphere, measured on the different moving platforms (MP) including drifting stations and research vessels (RV), is considered in this paper. For the moving platforms, such variability results in the statistical inhomogeneity of the data series of measurements, carried out at each of MP; it complicates the joint analysis of data collected at different MP. The transformation of variables, which results in obtaining the homogeneous data series for individual MP and their totality, was applied in [Русина, Генухович, 2010] to data of the total ozone (TO) measurements. The technique in use allows for excluding influence of the natural annual variations and of the systematic component of the spatial inhomogeneity from the analyzed data and for correct comparing of observational data obtained in different time periods and different regions of the Earth. Resulting data could be separated into two regimes, the first one corresponding to «normal situations» and the second one – to possible «significant anomalies».*

*The purpose of this work is the confirmation of the expediency and effectiveness of this approach as for TO (with use of materials of additional observations of total ozone on the RV «Akademik Fedorov» in 2008–2010), as well as for the total solar radiation (in the analysis and comparison of the monthly sums of total radiation on drifting stations, working in the Arctic basin in 1954–1991 and 2007–2009.).*

*Keywords:* moving platforms, research vessels, drifting stations, relative anomalies, total ozone, monthly sums of total solar radiation.