

**ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ И ГИДРОСФЕРЫ**  
**ATMOSPHERE AND HYDROSPHERE PHYSICS**<https://doi.org/10.30758/0555-2648-2021-67-2-249-260>

УДК 551.510



ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

ORIGINAL ARTICLE

**БАЗА ДАННЫХ ЧАСОВЫХ И СУТОЧНЫХ СУММ СУММАРНОЙ РАДИАЦИИ НА РОССИЙСКИХ АНТАРКТИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ: АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ СУММАРНОЙ РАДИАЦИИ ЗА ВЕСЬ ПЕРИОД НАБЛЮДЕНИЙ В АНТАРКТИДЕ**

Е.Е. СИБИР, В.Ф. РАДИОНОВ\*, Е.Н. РУСИНА

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия\*[vradion@aari.ru](mailto:vradion@aari.ru)**Резюме**

С учетом ощутимых изменений климата на планете в целом, особую роль приобретают базы и архивы данных основных климатообразующих характеристик атмосферы, собранных за длительные периоды времени в различных районах земного шара и, в частности, в полярных областях. Суммарная солнечная радиация входит в число важнейших параметров, влияющих на энергетический баланс системы Земля — атмосфера. В статье приведено описание созданной базы данных (БД) часовых и суточных сумм суммарной радиации на российских станциях Антарктиды. БД предназначена для исследования радиационного режима Антарктики с начала актинометрических наблюдений и до настоящего времени. База данных прошла процедуру государственной регистрации и зарегистрирована под № 2020621401. На основе содержащейся в ней информации были получены оценки характеристик изменчивости суточных, месячных и годовых сумм суммарной радиации на станциях Беллинсгаузен, Восток, Мирный, Новолазаревская и Прогресс за весь период наблюдений по 2019 г. Результаты их анализа свидетельствуют об отсутствии существенных изменений в поступлении суммарной солнечной радиации на антарктическую поверхность за более чем шестидесятилетний период актинометрических наблюдений.

**Ключевые слова:** актинометрические наблюдения, антарктические станции, база данных, суммарная солнечная радиация, энергетический баланс.

**Для цитирования:** Сибир Е.Е., Радионов В.Ф., Русина Е.Н. База данных часовых и суточных сумм суммарной радиации на российских антарктических станциях: анализ изменения суммарной радиации за весь период наблюдений в Антарктиде // Проблемы Арктики и Антарктики. 2021. Т. 67. № 3. С. 249–260. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2021-67-3-249-260>.

Поступила 27.07.2021

После переработки 03.09.2021

Принята 09.09.2021

**DATABASE OF HOURLY AND DAILY SUMS OF TOTAL RADIATION AT RUSSIAN ANTARCTIC STATIONS: ANALYSIS OF CHANGES IN TOTAL RADIATION FOR THE ENTIRE PERIOD OF OBSERVATIONS IN ANTARCTICA**

### Summary

Given the significant changes in the climate on the planet as a whole, databases and archives of data on the main climate-forming characteristics of the atmosphere, collected over long periods of time in various regions of the globe and, in particular, in the polar regions, acquire a special role. Total solar radiation is one of the most important parameters affecting the energy balance of the Earth-atmosphere system. We have created a database (DB) of hourly and daily sums of total radiation ( $Q$ ) at the Russian Antarctic stations, designed to study the radiation regime of the Antarctic, from the beginning of actinometric observations to 2019. The information presented in the database was collected at five Antarctic stations — Bellingshausen, Vostok Mirny, Novolazarevskaya and Progress. The database has undergone a state registration procedure and is registered under No. 2020621401.

The article gives a description of the structure of the DB and presents detailed information for each station. To provide an example of how database information can be used, characteristics of the total radiation in different parts of the Antarctic continent are obtained. Thus, it is found that the average monthly amounts of  $Q$  in the continental part of Antarctica on the high plateau (Vostok station) in conditions of minimal cloudiness and high transparency during the Antarctic summer are maximum and average 1240 MJ/m<sup>2</sup>. At the same time, at the tip of the Antarctic Peninsula (Bellingshausen station) during the same period, the average monthly amounts of  $Q$  due to the almost constantly present cloud cover do not exceed 570 MJ/m<sup>2</sup>. In the coastal areas at the three remaining stations, the average monthly amounts of total radiation range from 908 MJ/m<sup>2</sup> (Progress) to 950 MJ/m<sup>2</sup> (Mirny). Estimates of variability characteristics of daily, monthly, and annual sums of total radiation at all the five stations for the entire observation period up to 2019 were also obtained. The absence of statistically significant long-term trends in the annual and monthly sums of total radiation at all the stations under consideration was noted. The results of their analysis indicate that there are no significant changes in the inflow of total solar radiation to the Antarctic surface over more than sixty years of actinometric observations.

**Keywords:** actinometric observations, Antarctic stations, database, energy balance, total solar radiation.

**For Citation:** *Sibir E.E., Radionov V.F., Rusina E.N.* Database of hourly and daily sums of total radiation at Russian antarctic stations: analysis of changes in total radiation for the entire period of observations in Antarctica. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2021, 67 (3): 249–260. [In Russian]. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2021-67-3-249-260>.

Received 27.07.2021

Revised 03.09.2021

Accepted 09.09.2021

### ВВЕДЕНИЕ

Регулярные наблюдения за радиационным режимом на антарктическом континенте были начаты в 1956–1958 гг. в рамках программ Международного геофизического года. Первоначально актинометрические наблюдения проводились на станции Мирный, а затем на вновь организуемых станциях. Первые результаты радиационных исследований в Антарктиде были представлены в монографии Н.П. Русина [1]. В ней впервые были рассмотрены особенности радиационного режима Антарктиды, включая антарктические оазисы. Материалы актинометрических наблюдений на сети антарктических станций за период от начала наблюдений по 1973 г. были приведены в «Справочнике по климату Антарктиды» [2]. Исследования радиационного климата Антарктиды проводились также и за рубежом [3–7].

Подробный анализ радиационного режима на антарктических станциях был выполнен в монографии М.С. Маршуновой [8]. В ней использованы материалы

актинометрических и некоторых сопутствующих наблюдений на 28 советских и зарубежных антарктических станциях за период с 1956 по 1975 г. Эти исследования, расширенные по видам наблюдений, продолжаются до сих пор [9–16]. Их результаты используются для мониторинга радиационного режима Антарктиды. Поэтому очень важным является накопление и хранение получаемой информации. Существенная роль в этом отводится созданию баз данных составляющих радиационного баланса системы атмосфера — подстилающая поверхность.

На первом этапе исследований радиационного режима преимущественно анализировались данные месячной дискретности — месячные суммы характеристик радиационного режима, средние за месяц величины коэффициентов интегральной прозрачности и т. д. Результаты показали, что для детального понимания роли тех или иных факторов, формирующих радиационный режим в Антарктиде, необходим анализ данных актинометрических наблюдений с дискретностью, меньшей, чем месяц. Очень важны такие данные и для развития гелиоэнергетики. С этой целью в ААНИИ был создан архив актинометрических данных, полученных на 7 российских станциях в Антарктиде (Беллинсгаузен, Восток, Ленинградская, Мирный, Молодежная, Новолазаревская, Прогресс) за весь период с начала наблюдений на каждой из станций и по 1996 г. [12]. В этот архив вошла информация срочных актинометрических наблюдений (включая сопутствующую метеорологическую информацию) и данные регистраторов (часовые суммы различных элементов радиационного баланса).

Однако в 1990-х гг. программа актинометрических наблюдений была сокращена. К настоящему времени выполняется только регистрация часовых сумм суммарной радиации на 5 станциях (Беллинсгаузен с 1978 г., Восток с 1992 г., Мирный с 1997 г., Новолазаревская с 1992 г., Прогресс с 2004 г.).

С целью сохранения всей имеющейся в наличии информации о поступлении солнечной радиации к поверхности Антарктиды, по результатам наблюдений на указанных пяти станциях от начала измерений и до 2019 г. включительно была сформирована «База актинометрических данных часовых и суточных сумм суммарной радиации на российских антарктических станциях» (Свидетельство о государственной регистрации № 2020621401). Заархивированные данные могут быть использованы как для изучения и анализа специфики изменения радиационного режима Антарктиды как одной из составляющих климата Антарктиды в целом (примеры такого использования приводятся ниже), так и в качестве входных параметров в климатических моделях.

#### **ОПИСАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ЧАСОВЫХ И СУТОЧНЫХ СУММ СУММАРНОЙ РАДИАЦИИ. СТРУКТУРА БАЗЫ ДАННЫХ**

На российских станциях в Антарктиде с момента их открытия с помощью регистраторов проводятся измерения часовых сумм суммарной радиации. Именно часовые и суточные суммы суммарной радиации стали основой базы данных. Суммы суммарной радиации приведены в единицах системы СИ МДж/м<sup>2</sup>. Результаты наблюдений, выполнявшихся до 1980 г. в кал/см<sup>2</sup>, были пересчитаны в единицы системы СИ с помощью соотношения 1 кал/см<sup>2</sup> = 0,0419 МДж/м<sup>2</sup>.

До середины 1990-х гг. на большинстве станций проводились, помимо измерений часовых сумм суммарной радиации, и измерения других составляющих радиационного баланса (прямой, рассеянной, отраженной радиации, радиационного

баланса и альбедо подстилающей поверхности). Поэтому у нас была возможность проводить контроль качества информации путем проверки выполнения существующих соотношений между различными видами радиации [12]. После перехода к сокращенной программе измерений возможность для такого контроля отсутствует.

База данных состоит из текстовых файлов (ANSI): для каждой станции отдельная таблица, включающая год, месяц, координатный номер станции, код вида радиации, дату и час наблюдений, результаты измерений часовых сумм суммарной радиации и расчета суточных сумм. Часовая сумма относится к периоду в один час, оканчивающемуся в этот час (например: в столбце, соответствующем 1 часу приведена часовая сумма за период 0–1 час и т. д.).

В табл. 1 приведена структура единичной записи данных регистрации часовых сумм радиации (соответствует информации таблицы ТМ-13).

Коды отсутствия данных 999 или 9999 соответственно для часовых и суточных сумм радиации.

Вводимые в таблицу характеристики качества информации имеют следующие значения: 0 — величина корректна, 1 — величина сомнительна, 2 — величина восстановлена, 3 — величина забракована, 9 — контроль качества не проводился.

Координатный номер включает сведения о широте и долготе станции.

Шифр вида радиации 7103 соответствует суммарной радиации.

Таблица 1

Структура записи в архив данных регистрации радиационных характеристик

Table 1

Structure of archival recording of radiation characteristics data

Элемент	Длина записи в байтах	Повторяемость
Год	4	
Месяц	2	
Координатный номер станции	7	
Шифр вида регистрации	4	
День	2	
Суточная сумма радиации	4	
Характеристика качества (QA)	1	
Часовые суммы радиации	3	24

Пример формата файлов:

```

progress2 — Блокнот
Файл  Правка  Формат  Вид  Справка
2004 1694076471032122509 5 1 7 12 32 90 95120181180236239234204179144 97 66 48 36 28 10 3 3
2004 1694076471032210449 2 4 9 19 34 21 25 32 63 56 85 94104 78 63 70 89 72 60 30 21 10 2 1
2004 1694076471032327069 1 3 11 18 47 78175204249274298215237199181205119 70 57 40 16 6 2 1
2004 1694076471032414899 1 3 8 18 31 48 75 94105110116115121144125 82 99 95 43 28 17 7 3 1
2004 1694076471032526229 3 4 12 25 65 67 84137187208274275257223218188159109 69 28 13 9 5 3
2004 1694076471032628799 2 4 12 29 73 73 90165239269286288279260229197161108 68 26 11 6 3 1
2004 1694076471032729609 1 3 7 29 67123168203237266289273266266241127162102 65 35 20 7 2 1
2004 1694076471032829219 1 3 8 24 41105162200233264281284274256225194156104 64 24 10 5 2 1
2004 1694076471032929859 1 2 6 29 62117166202238266283285277256226193154102 67 28 19 7 1 0
2004 1694076471033026709 0 1 2 8 15 35 74174175276276285277273237193155103 63 30 13 4 1 0
2004 1694076471033126239 0 1 4 21 22 52 80151225254277278265252222176121118 50 29 17 6 1 1
2004 269407647103 127789 1 1 4 12 36 79136178212243268279275260232198157110 63 21 8 4 1 0
2004 269407647103 220539 0 1 3 7 28 63115 93135114166211253267212142127 58 28 18 8 3 1 0
2004 269407647103 325279 0 1 3 8 17 48 92145184224255267266254233177145103 62 29 10 3 1 0
2004 269407647103 425779 0 2 4 12 29 56110151194232247265254240218185152107 78 31 6 3 1 0
2004 269407647103 524769 0 1 3 10 31 62 98140177206236244245236218191159116 64 28 7 3 1 0
2004 269407647103 623859 0 0 2 8 33 69113155190216235245246236212139143 79 38 18 7 1 0 0
2004 269407647103 717899 0 0 2 8 25 41 54 87 95109129146183190202153159104 59 31 10 2 0 0
    
```

### ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕНЧИВОСТИ ВЕЛИЧИН СУММАРНОЙ РАДИАЦИИ

Антарктический континент отличается крайней неравномерностью поступления к его поверхности солнечной радиации, очень высокой прозрачностью атмосферы из-за малого содержания водяного пара и аэрозолей, высоким альбедо (80–90 %), что связано с почти полным покрытием поверхности континента снегом и льдом. Особенности циркуляции атмосферы определяют специфический режим облачности в разных частях континента — на центральном плато, западном и восточном склонах, на побережье. В центральных районах существенную роль играют температурные инверсии с высокой частотой повторяемости 96–99 % [8]. На побережье велико влияние циклонов и стоковых ветров.

Станции, данные наблюдений которых собраны в БД, отражают особенности разных районов континента, например станция Восток — специфику центральных частей Антарктиды, Мирный — особенности побережья, Новолазаревская характеризует условия антарктических оазисов, где значительную часть года поверхность свободна от снега, а станция Беллинсгаузен — условия антарктического полуострова.

Сведения о периодах наблюдений на станциях, представленных в базе данных суммарной радиации, приведены в табл. 2.

Таблица 2

#### Перечень станций, их координаты и периоды актинометрических наблюдений

Table 2

##### List of stations, their coordinates and periods of actinometric observations

Станция	Координаты	Период наблюдений (годы, месяцы)
Беллинсгаузен	62°12' ю. ш., 58°56' з. д.	1968 (III–V); 1969 (I–XII); 1970 (I–VI); 1971 (III–XII); 1972–1989 (I–XII); 1991–1998 (I–XII); 1999 (IV–XII); 2000–2019 (I–XII)
Восток	78°27' ю. ш., 06°52' в. д.	1963 (III–IV, IX–XII); 1964 (III–IV, IX–XII); 1965–1975 (I–IV, VIII–XII); 1976 (IX–XII); 1977–1978 (I–IV, VIII–XII); 1979 (I–IV, IX–XII); 1980 (I–IV, VIII, X–XII); 1981 (I–IV, VIII–XII); 1983–1984 (I–IV, VIII–XII); 1985 (I, III–IV, VIII–IX, XI–XII); 1986–1988 (I–IV, VIII–XII); 1989 (I–IV, IX–XII); 1991–1992 (I–IV, VIII–XII); 1993 (I–IV, IX–XII); 2000–2003 (I–IV, VIII–XII); 2004 (I–IV, VIII–XI); 2005 (II–IV, VIII–XII); 2006–2019 (I–IV, VIII–XII)
Мирный	66°33' ю. ш., 93°00' в. д.	1956 (IV–XII); 1957 (III–XII); 1961–1970 (I–XII); 1971 (I–IV, VII–XII); 1972–1989 (I–XII); 1991–2019 (I–XII)
Новолазаревская	70°46' ю. ш., 11°50' в. д.	1961 (III–V, VII–XII); 1963 (III–V, VII–XII); 1964–1970 (I–V, VII–XII); 1971 (I–IV, VII–XII); 1972–1992 (I–V, VII–XII); 1993 (III–V, VIII–XII); 1994–1998 (I–V, VII–XII); 1999 (III–V, VIII–XI); 2000–2019 (I–V, VII–XII)
Прогресс	69°23' ю. ш., 76°23' в. д.	2004–2007 (I–XII); 2008 (I–IX); 2009 (I–XII); 2010 (I–X); 2011–2019 (I–XII)

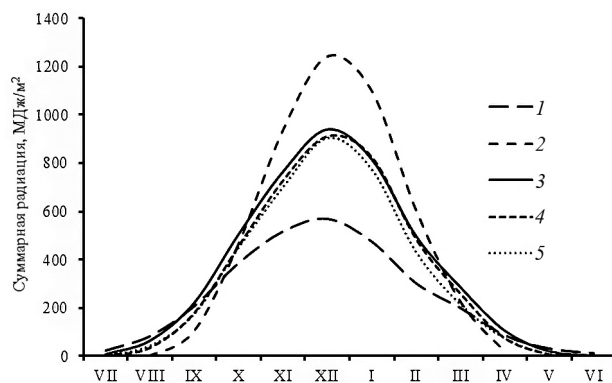


Рис. 1. Внутригодовой ход месячных сумм суммарной радиации на антарктических станциях: 1 — Беллинсгаузен; 2 — Восток; 3 — Мирный; 4 — Новолазаревская; 5 — Прогресс

Fig. 1. Intra-annual variation of monthly sums of total radiation at Antarctic stations: 1 — Bellingshausen; 2 — Vostok; 3 — Mirny; 4 — Novolazarevskaya; 5 — Progress

На рис. 1 приведен годовой ход осредненных за весь период наблюдений месячных сумм суммарной радиации ( $Q$ ).

Максимальный приход суммарной радиации наблюдается в летние антарктические месяцы, что обусловлено сезонными изменениями продолжительности светового дня и высоты Солнца. Пик суммарной радиации приходится на декабрь, это соответствует июню Северного полушария (см. рис. 1).

Самые высокие значения суммарной солнечной радиации  $Q$  регистрируются летом (в декабре) на континентальной станции Восток, расположенной в высокогорной части Восточно-Антарктического ледникового щита. Этому, в частности, способствуют следующие факторы:

- высотное расположение станции — 3,5 км над уровнем моря;
- низкое влагосодержание атмосферы;
- слабое развитие облачного покрова, характеризуемого преобладанием перистых облаков при незначительной облачности нижнего яруса. Общая облачность за год составляет 3,5–5,0 баллов при слабой изменчивости от сезона к сезону;
- высокая отражательная способность подстилающей поверхности, в течение всего года покрытой снегом.

Минимальные значения суммарной радиации антарктическим летом наблюдаются на станции Беллинсгаузен, что связано со спецификой метеорологических условий. Станция находится на оконечности Антарктического полуострова и отличается от других станций высокими значениями облачности и большим влагосодержанием атмосферы. В частности, в течение года показатели общей облачности изменяются в среднем от 7,6 до 8,4 балла. В переходные сезоны эти значения бывают более высокими: 8,6–8,8 баллов.

На трех других станциях кривые годового хода суммарной радиации близки между собой. Общая облачность над районами расположения этих станций в среднем за год составляет от 6,0 до 6,5 баллов, максимум отмечается зимой, минимум летом.

На рис. 2 представлен годовой ход суточных сумм суммарной радиации на четырех станциях с длинными рядами наблюдений, где наблюдения проводились более 50 лет. На этом рисунке приведены средние за период наблюдений значения



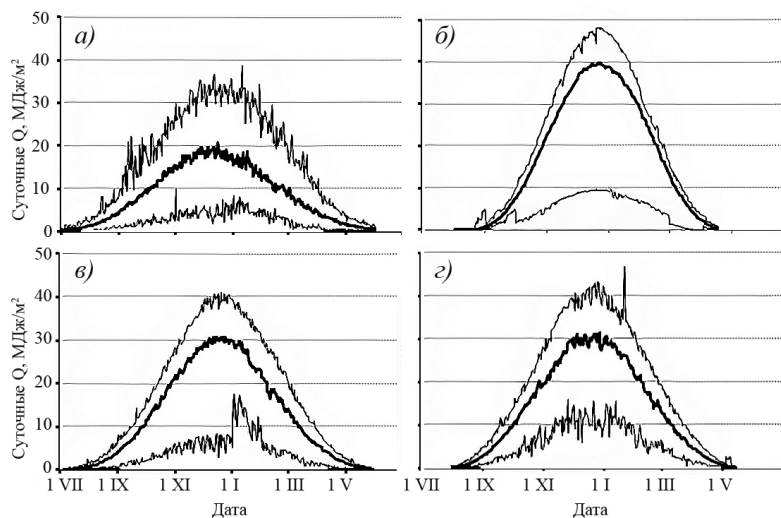


Рис. 2. Годовой ход средних многолетних значений суточных сумм суммарной радиации  $Q$  и их экстремумов на антарктических станциях:  $a$  — Беллинсгаузен;  $b$  — Восток;  $v$  — Мирный;  $z$  — Новолазаревская

Fig. 2. Annual variation of the average long-term values of daily sums of total radiation  $Q$  and their extremes at Antarctic stations:  $a$  — Bellingshausen;  $b$  — Vostok;  $v$  — Mirny;  $z$  — Novolazarevskaya  
 суточных сумм  $Q$ , а также абсолютные максимумы и минимумы значений суточных сумм  $Q$  за весь период наблюдений на соответствующих станциях.

Рис. 2 дает достаточно четкое представление о средних величинах и пределах изменчивости суточных сумм суммарной радиации, поступающей на поверхность. Главной причиной таких различий являются облачность, характер подстилающей поверхности и прозрачность атмосферы. На разных станциях эти факторы, как уже говорилось, существенно отличаются. Абсолютные величины максимальных и минимальных значений суточных сумм  $Q$  и специфика соотношения их средних, максимальных и минимальных значений характеризуют радиационный режим каждой из станций и соответствующих областей Антарктиды. К примеру, на внутриконтинентальной станции Восток, характеризующейся высоким альбедо в течение всего года, незначительным количеством облачности и высокой прозрачностью атмосферы, максимальные и средние суточные суммы  $Q$  летом значительно выше, чем в других районах Антарктиды. Большой, по сравнению с другими станциями, разброс между максимальными и минимальными значениями суточных сумм связан с изменениями облачности в конкретные дни года.

Минимальные летом значения суточных сумм  $Q$  отмечаются на станции Беллинсгаузен (см. рис. 2а) с ее высокой влажностью и облачностью. На этой станции также наблюдается самая большая, по сравнению с другими станциями, межсуточная изменчивость суммарной радиации, связанная со спецификой погодных условий, и существенно меньший разброс между максимальными и минимальными значениями.

Таким образом, с помощью размещенных в БД данных о часовых и суточных суммах суммарной радиации, особенно с привлечением данных об облачности, влажности, прозрачности атмосферы и характере подстилающей поверхности, можно более четко отследить особенности радиационного режима различных районов Антарктиды.

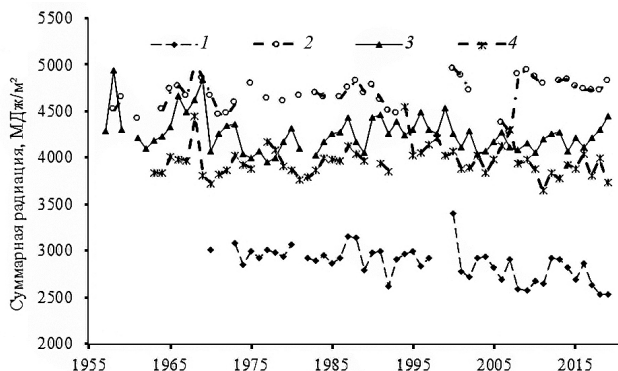


Рис. 3. Многолетнее изменение годовых сумм суммарной радиации на антарктических станциях: 1 — Беллинсгаузен, 2 — Восток, 3 — Мирный, 4 — Новолазаревская

Fig. 3. Long-term change in annual sums of total radiation at the Antarctic stations: 1 — Bellingshausen; 2 — Vostok; 3 — Mirny; 4 — Novolazarevskaya

На рис. 3 приведена многолетняя изменчивость годовых сумм суммарной радиации на тех же четырех станциях с длительными рядами наблюдений. Прежде всего, он подтверждает особенность, отмеченную на рис. 1 и 2, — максимальное поступление радиации на внутриконтинентальной станции Восток и минимальное — на прибрежной станции Беллинсгаузен на Антарктическом полуострове.

На станциях Мирный и Новолазаревская отличия в годовых суммах  $Q$  менее заметны. Однако на станции Мирный, расположенной на ледниковом побережье, поступление суммарной радиации постоянно выше, чем на станции Новолазаревская, расположенной в антарктическом оазисе, где подстилающая поверхность свободна от снега значительную часть года.

В табл. 3 приведены параметры линейных трендов и величины достоверности их аппроксимаций  $R^2$  многолетних изменений годовых сумм  $Q$  на этих станциях.

Как видно из табл. 3, на Востоке наблюдается тенденция многолетнего линейного увеличения приходящей к поверхности в течение года суммарной радиации, а на трех других станциях — тенденция ее уменьшения, более выраженная на станции Беллинсгаузен. Анализ трендов многолетней изменчивости месячных сумм суммарной радиации показал точно такие же тенденции, а именно, положительные тренды в каждый из месяцев наблюдений на станции Восток и отрицательные на трех других станциях, однако, и те, и другие статистически незначимы.

Таблица 3

**Параметры линейных трендов и величины достоверности их аппроксимаций  $R^2$  многолетних изменений годовых сумм  $Q$**

Table 3

**Parameters of linear trends and values of reliability of their approximations  $R^2$  of long-term change in annual sums  $Q$**

Станция	Уравнение	$R^2$
Беллинсгаузен	$y = -7,130x - 17103$	0,332
Восток	$y = 2,506x - 292,2$	0,085
Мирный	$y = -2,533x - 9291$	0,056
Новолазаревская	$y = -0,355x - 4669$	0,001



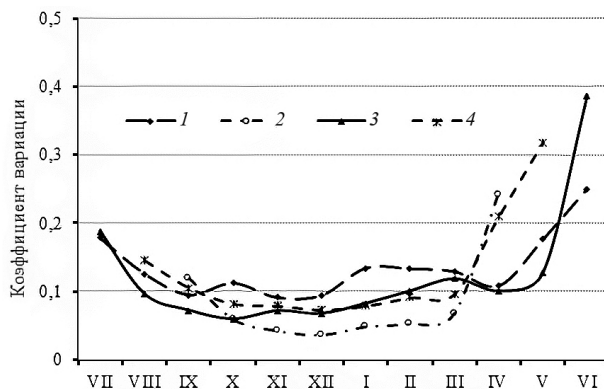


Рис. 4. Коэффициенты вариации месячных сумм суммарной радиации на антарктических станциях: 1 — Беллинсгаузен; 2 — Восток; 3 — Мирный; 4 — Новолазаревская

Fig. 4. Coefficients of variation of monthly sums of total radiation at Antarctic stations: 1 — Bellingshausen; 2 — Vostok; 3 — Mirny; 4 — Novolazarevskaya

Таким образом, можно утверждать, что отсутствие на российских антарктических станциях статистически значимых положительных или отрицательных трендов в поступлении к поверхности суммарной солнечной радиации является основной особенностью многолетней изменчивости этой составляющей радиационного режима.

На рис. 4 показано, как меняются в течение года коэффициенты вариации месячных сумм суммарной радиации (отношение стандартного отклонения величины к ее среднему значению) на тех же четырех длиннорядных станциях.

Из рис. 4 видно, что минимальные значения коэффициентов вариации наблюдаются на станции Восток, а максимальные (примерно в 2 раза большие) — на Беллинсгаузене. На станциях Мирный и Новолазаревская с сентября до марта величины коэффициентов вариации месячных сумм приходящей к поверхности солнечной радиации занимают промежуточные, по сравнению с Востоком и Беллинсгаузенем, значения и составляют менее 10 %.

В этот период года к поверхности поступает более 95 % годовой суммы солнечной радиации в Мирном, более 97 % на Новолазаревской и практически 100 % на Востоке. Несколько большие значения коэффициента вариации на станции Беллинсгаузен антарктическим летом связаны с особенностями внутригодовой изменчивости облачности над Антарктическим полуостровом, но и здесь за период с сентября до марта поступает более 92 % годового количества солнечной энергии. В целом можно говорить о малой изменчивости месячных сумм в конце весны — летом — в начале осени на указанных станциях.

## ВЫВОДЫ

Приведено описание сформированной в ААНИИ «Базы актинометрических данных часовых и суточных сумм суммарной радиации на российских антарктических станциях».

На основе информации, включенной в БД, проанализированы результаты измерений часовых и суточных сумм суммарной радиации на пяти российских антарктических станциях Беллинсгаузен, Восток, Мирный, Новолазаревская и Прогресс с начала наблюдений по 2019 г.

Получены оценочные характеристики поступления суммарной радиации к земной поверхности в разных частях антарктического материка. Так, было установлено, что средние месячные суммы  $Q$  в континентальной части Антарктиды на высокогорном плато (станция Восток) в условиях минимальной облачности и высокой прозрачности в период антарктического лета максимальны и составляют в среднем 1240 МДж/м<sup>2</sup>. В то же время на оконечности Антарктического полуострова (станция Беллинсгаузен) в этот же период средние месячные суммы  $Q$  из-за практически постоянно присутствующего облачного покрова не превышают 570 МДж/м<sup>2</sup>. В прибрежных районах на остальных трех станциях средние месячные суммы суммарной радиации колеблются в пределах от 908 МДж/м<sup>2</sup> (Прогресс) до 950 МДж/м<sup>2</sup> (Мирный). Отмечено отсутствие статистически значимых многолетних трендов годовых сумм суммарной радиации на всех рассматриваемых станциях. Это позволяет сделать вывод об отсутствии существенных изменений в поступлении суммарной солнечной радиации на антарктическую поверхность за более чем шестидесятилетний период актинометрических наблюдений.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках плановой научной тематики ААНИИ по проекту 5.2 ЦНТП Росгидромета.

**Conflict of interest.** The authors declare that they have no conflicts of interest.

**Funding.** The work was carried out within the framework of the planned scientific topics of the AARI under the project 5.2 of the Roshydromet CSTP.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Русин Н.П. Метеорологический и радиационный режим Антарктиды. Л.: Гидрометеоздат, 1961. 448 с.
2. Справочник по климату Антарктиды. Т. 1. Л.: Гидрометеоздат, 1976. 211 с.
3. Dutton E.G., Stone R.S., DeLuisi J.T. South Pole surface radiation balance measurements, April 1986 to February 1988. Silver Spring, Md.: U. S. Dept. of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Environmental Research Laboratories, Air Resources Laboratory, [1989]. Series: NOAA data report ERL ARL. V. 17. 49 p.
4. Gardiner B.G. Solar radiation transmitted to the ground through cloud in relation to surface albedo // J. Geophys. Res. 1987. V. 92 (D4). P. 4010–4018.
5. Gardiner B.G., Shanklin J.D. Measurements of Solar and Terrestrial Radiation at Faraday and Halley / British Antarctic Survey. Cambridge, 1989. 45 p.
6. Dutton E.G., Stone R.S., Nelson D.W., Mendonca B.G. Recent interannual variations in solar radiation, cloudiness, and surface temperature at the South Pole // J. Climate. 1991. V. 4. P. 848–858.
7. Sanhill G., Cohen S. Recent Changes in Solar Irradiance in Antarctica // J. Climate. 1997. V. 10. № 8. P. 2078–2086.
8. Мариунова М.С. Условия формирования и характеристики радиационного режима Антарктиды. Л.: Гидрометеоздат, 1980. 214 с.
9. Мариунова М.С., Радионов В.Ф. Колебания интегральной прозрачности атмосферы в полярных районах // Метеорология и гидрология. 1988. № 11. С. 71–80.
10. Радионов В.Ф., Мариунова М.С., Русина Е.Н. и др. Аэрозольная мутность атмосферы в полярных областях // Изв. АН. Физика атмосферы и океана. 1994. Т. 30. № 6. С. 797–801.
11. Справочник по климату Антарктиды. Солнечная радиация. СПб.: Гидрометеоздат, 2002. 148 с.

12. Сибир Е.Е., Радионов В.Ф., Мишин А.А. Параметры изменчивости характеристик радиационного режима на российских антарктических станциях по результатам анализа данных из архива актинометрических измерений на этих станциях // Проблемы Арктики и Антарктики. 2003. № 74. С. 7–18.
13. Радионов В.Ф., Русина Е.Н., Сибир Е.Е. Специфика многолетней изменчивости суммарной радиации и характеристик прозрачности атмосферы в полярных областях // Проблемы Арктики и Антарктики. 2007. № 76. С. 131–136.
14. Радионов В.Ф., Русина Е.Н., Сакерин С.М., Сибир Е.Е., Смирнов А.В. Составляющие радиационного баланса и аэрозольно-оптические параметры атмосферы в Антарктике в период МПГ на фоне их многолетней изменчивости // Вклад России в Международный полярный год 2007/08. Метеорологические и геофизические исследования. М.: Paulsen, 2011. С. 158–169.
15. Van den Broeke M., Reijmer C., Van den Wal R. Surface radiation balance in Antarctica as measured with automatic weather stations // J. of Geoph. Res. 2004. V. 109. D09103. doi: 10.1029/2003JD004394
16. Balog I., Spinelli F., Grigioni P., Caputo G., Napoli G., De Silvestri L. Estimation of direct normal irradiance at Antarctica for concentrated solar technology // Appl. Syst. Innov. 2019. V. 2. № 21. 18p. doi: 10.3390/asi2030021

## REFERENCES

1. Rusin N.P. *Meteorologicheskii i radiatsyonnyy rezhim Antarktiki*. Meteorological and Radiation Regime of Antarctica. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1961: 448 p. [In Russian].
2. *Spravochnik po klimatu Antarktiki*. Handbook of Antarctica Climate. V. 1. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1976: 211 p. [In Russian].
3. Dutton E.G., Stone R.S., DeLuisi J.T. South Pole surface radiation balance measurements, April 1986 to February 1988. Silver Spring, Md.: U. S. Dept. of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Environmental Research Laboratories, Air Resources Laboratory, [1989]. Series: NOAA data report ERL ARL; 17: 49 p.
4. Gardiner B.G. Solar radiation transmitted to the ground through cloud in relation to surface albedo. J. Geophys. Res. 1987, 92 (D4): 4010–4018.
5. Gardiner B.G., Shanklin J.D. Measurements of solar and terrestrial radiation at Faraday and Halley. British Antarctic Survey. Cambridge, 1989: 45 p.
6. Dutton E.G., Stone R.S., Nelson D.W., Mendonca B.G. Recent interannual variations in solar radiation, cloudiness, and surface temperature at the South Pole. J. Climate. 1991, 4: 848–858.
7. Sanhill G., Cohen S. Recent changes in solar irradiance in Antarctica. J. Climate. 1997, 10 (8): 2078–2086.
8. Marshunova M.S. *Usloviya formirovaniya i kharakteristiki radiatsionnogo klimata Antarktity*. Formation conditions and characteristics of radiation climate in Antarctica. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1980: 214 p. [In Russian].
9. Marshunova M.S., Radionov V.F. Fluctuations of integral transparency of the atmosphere in polar regions. *Meteorologiya i gidrologiya*. Sov. Meteorol. Hydrol. 1988, 11: 71–80. [In Russian].
10. Radionov V.F., Marshunova M.S., Rusina E.N., Lubo-Lesnichenko K.E., Pimanova Yu.E. Aerosol turbidity of the atmosphere in polar regions. *Fizika atmosfery i okeana*. Atmos. Oceanic Phys. 1994, 6 (30): 797–801. [In Russian].
11. *Spravochnik po klimatu Antarktity. Solnechnaia radiatsiia*. Handbook of Antarctica climate. Solar radiation. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 2002: 148 p. [In Russian].
12. Сибир Е.Е., Радионов В.Ф., Мишин А.А. Параметры изменчивости характеристик радиационного режима на российских антарктических станциях по результатам анализа данных из архива актинометрических измерений на этих станциях // Проблемы Арктики и Антарктики. 2003. № 74. С. 7–18.

the archive of actinometric measurements at these stations. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Arctic and Antarctic Research 2003, 74: 7–18. [In Russian].

13. Radionov V.F., Rusina E.N., Sibir E.E. Particularities of long-term variability of total solar radiation and atmospheric transparency characteristics in the polar areas. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2007, 76: 131–136. [In Russian].

14. Radionov V.F., Rusina E.N., Sibir E.E., Sakerin S.M., Smirnov A.V. Components of the radiation balance and aerosol-optical parameters in Antarctica during IPY compared with their long-term variability. Contribution of Russia to the International Polar Year 2007/08. Meteorological and geophysical researches. Moscow: Paulsen, 2011: 158–169. [In Russian].

15. Van den Broeke M, Reijmer C., Van den Wal R. Surface radiation balance in Antarctica as measured with automatic weather stations. *J. Geophys. Res.* 2004, 109: D09103. doi: 0.1029/2003JD004394

16. Balog I., Spinelli F., Grigioni P., Caputo G., Napoli G., De Silvestri L. Estimation of direct normal irradiance at Antarctica for concentrated solar technology. *Appl. Syst. Innov.* 2019, 2 (21): 18 p. doi:10.3390/asi2030021