

## МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГОДОВЫХ СУММ СУММАРНОЙ И ПОГЛОЩЕННОЙ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ В АРКТИКЕ

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

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: vradion@ aari.ru*

Исследована изменчивость суммарной ( $Q$ ) и поглощенной ( $Q-R$ ) радиации после 2000 г. по данным отдельных арктических станций в сравнении с многолетней изменчивостью этих характеристик с начала наблюдений и по 1992 г. В качестве оценочных параметров выбраны нормированные на многолетние средние за 1961–1990 гг. значения аномалий годовых сумм суммарной и поглощенной радиации. Проанализирована изменчивость общей облачности и интегральной оптической толщины, характеризующей прозрачность атмосферы, как факторов, оказывающих наибольшее влияние на поступление суммарной радиации. Интегральная оптическая толщина атмосферы в Арктике после 2000 г., скорее всего, определялась спецификой поступления загрязняющих веществ в арктическую атмосферу и существенно выше в западном арктическом районе, нежели в восточном. После 2000 г. практически на всех рассматриваемых станциях приход суммарной радиации оказался ниже многолетней нормы. Зафиксированы значительные по абсолютной величине, но неодинаковые по знаку изменения поглощенной радиации. Длительных периодов уменьшения и последующего увеличения приходящей солнечной радиации, наблюдавшихся на европейских станциях и названных глобальным помутнением и просветлением атмосферы (“global dimming and global brightening”), на российских арктических актинометрических станциях не обнаружено.

*Ключевые слова:* интегральная оптическая толщина, суммарная и поглощенная радиация, арктические станции, прозрачность атмосферы.

### ВВЕДЕНИЕ

Мониторинг поступления солнечного излучения к земной поверхности является обязательным элементом наблюдательной системы на гидрометеорологической сети РФ, поскольку солнечная радиация представляет собой один из важнейших факторов, влияющих на формирование и изменения климата. В связи с этим большое внимание уделяется вариациям поступающей на земную поверхность солнечной радиации для различных временных интервалов (Weston et al., 2007; Wild et al., 2009). По данным отдельных европейских станций в 1930–1950-е гг. был зафиксирован рост поступления солнечной радиации (Ohmura, 2009). В 1960–1980 гг. он сменился ее снижением (Abakumova et al., 1996; Gilgen et al., 2009; Grimenes et al., 2006), которое получило название «глобальное помутнение» (“global dimming”). Вслед за этим вновь последовало многолетнее увеличение поступления солнечной радиации, обозначенное в научной литературе как прояснение/просветление (“brightening”) (Norris et al., 2007; Ohvriil et al., 2009; Stjern et al., 2009; Wild et al., 2009). В статье (Самукова и др., 2014)

приведены результаты анализа рядов коротковолновой солнечной радиации на 180 актинометрических станциях Европы, где периоды уменьшения и увеличения суммарной солнечной радиации ограничены 1964–1989 и 1990–2010 гг. соответственно, причем подчеркивается, что эти тенденции особенно значимо проявляются в летний, весенний и осенний сезоны.

В работе (Stanhill, 1995) отмечалось, что в Арктике в 1950–1993 гг. наблюдался отрицательный тренд среднего за год потока приходящей солнечной радиации, составивший  $-3,6 \text{ Вт/м}^2$  за 10 лет, что соответствует линейному уменьшению годовой суммы суммарной радиации на  $500 \text{ МДж/м}^2$  за 44 года наблюдений. Это — существенное уменьшение, поскольку, по данным наблюдений на 14 российских актинометрических станциях в Арктике за период с начала наблюдений в 1940–1950-х гг. до 1992 г., максимальное из средних многолетних значений составило  $3283 \text{ МДж/м}^2$ , среднеквадратическое отклонение годовых сумм приходящей к поверхности солнечной радиации от среднего многолетнего значения менялось в пределах от 130 до  $267 \text{ МДж/м}^2$ , а коэффициенты вариации — от 5 до 10 % (Научно-прикладной справочник..., 1997).

Поскольку поступление на поверхность суммарной радиации зависит от количества и вида облачности, прозрачности атмосферы и, отчасти, от свойств подстилающей поверхности, то описывать изменения состояния атмосферы в терминах «помутнение» и «просветление», на наш взгляд, было бы более корректным, анализируя характеристики ее прозрачности. Ранее статистические характеристики и многолетний ход их вариаций в Арктике были получены при анализе многолетних рядов актинометрических наблюдений за прямой солнечной радиацией (Маршунова и др., 1988; Научно-прикладной справочник..., 1997). На российских арктических станциях не было выявлено длительных временных интервалов с увеличением и последующим уменьшением прозрачности, но наблюдалась устойчивая тенденция снижения прозрачности с начала наблюдений до 1980-х гг. Было показано, что на станциях Западной Арктики, прилегающих к Карскому морю — острова Визе, Диксон, Голомянный и мыс Челюскин — при воздушных массах, пришедших из Центральной Арктики, прозрачность атмосферы выше среднего многолетнего уровня. При поступлении воздушных масс из Европы, Северной Атлантики, Северного, Норвежского и Баренцева морей наблюдалась пониженная прозрачность. В отдельные дни она уменьшалась более чем на удвоенное среднеквадратическое отклонение от среднего многолетнего значения. Доля аэрозольного ослабления в общем ослаблении солнечной радиации в этих случаях возрастала на 30 % от среднего значения.

При общем уменьшении прозрачности в 1940–1982 гг. на станциях о. Уединения, о. Диксон, м. Челюскин (Западная Арктика) и в 1947–1982 гг. на станциях о. Муостах, м. Шмидта, о. Врангеля (Восточная Арктика) — характер ее изменений как внутри года, так и в целом за рассматриваемые интервалы времени был различным. Скорости линейного уменьшения прозрачности весной (март–май) превышали таковые летом (июль–август) почти в 5 раз на западных станциях и в 2 раза — на восточных («арктическая дымка»). Скорости изменения средних величин коэффициента интегральной прозрачности за каждый из весенних месяцев и за весну в целом в западной части Арктики были в 2 раза больше, чем в восточной. Эти различия в скоростях изменения прозрачности были вызваны степенью влияния антропогенных загрязнений на атмосферу, более сильно сказывавшихся в западной ее части (Маршунова и др., 1988). Позднее в работе (Радионов и др., 2007) показано, что за 50-летний период с 1956 по 2005 г.

в межгодовой изменчивости суммарной радиации не прослеживалось статистически значимых положительных или отрицательных трендов ее поступления, несмотря на устойчивый тренд понижения интегральной прозрачности. В то же время имеются определенные отличия в изменениях суммарной радиации на каждой станции.

В данной статье анализируется изменчивость суммарной ( $Q$ ) и поглощенной ( $Q - R$ ) радиации (где  $R$  — отраженная радиация) за последние 10–15 лет на отдельных арктических станциях в сравнении с многолетней изменчивостью этих характеристик за периоды с начала наблюдений и по 1992 г.

Годовые суммы суммарной и поглощенной радиации после 2000 г. сопоставляются с многолетними нормами этих характеристик, приведенными в (Научно-прикладной справочник..., 1997). Кроме того, на тех станциях, где ведутся соответствующие наблюдения, анализируются изменения прозрачности атмосферы, характеризующиеся интегральной оптической толщиной (ИОТ). Наличие информации об измеряемых актинометрических параметрах после 2000 г., а также координаты этих станций и месяцы проведения наблюдений указаны в табл. 1.

Таблица 1

**Координаты станций, месяцы проведения наблюдений и наличие данных для расчета анализируемых в статье параметров ИОТ,  $Q$ ,  $Q - R$  после 2000 г.**

Параметр	Годы															
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
о. Визе (79,49° с.ш., 76,98° в.д., период наблюдений — с февраля по октябрь)																
ИОТ																
$Q$		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$Q - R$		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
о. Диксон (73,50° с.ш., 80,40° в.д., период наблюдений — с февраля по октябрь)																
ИОТ	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+	+
$Q$					+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
$Q - R$					+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
о. Голомянный (79,55° с.ш., 90,57° в.д., период наблюдений — с марта по октябрь)																
ИОТ																
$Q$		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
$Q - R$		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
м. Челюскин (77,72° с.ш., 104,30° в.д., период наблюдений — с февраля по октябрь)																
ИОТ	+		+	+		+	+	+	+	+	+			+	+	+
$Q$			+	+	+	+	+	+						+		
$Q - R$				+	+	+		+						+		
о. Врангеля (70,98° с.ш., 181,35° в.д., период наблюдений — с февраля по октябрь)																
ИОТ	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				
$Q$	+		+			+	+	+	+		+					
$Q - R$	+		+			+	+	+		+						
Уэлен (66,15° с.ш., 190,17° в.д., период наблюдений — с января по декабрь)																
ИОТ				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
$Q$				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+
$Q - R$				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+

После 1992 г. наблюдения на многих станциях прекратились, возобновились они лишь после 2000 г. К сожалению, восстановления актинометрических наблюдений в Арктике в том объеме, в котором они производились до 1992 г., не произошло. Сравнение данных, полученных за указанные периоды, оказалось возможным лишь на шести станциях из пятнадцати, представленных в (Научно-прикладной справочник . . . , 1997). Это станции на островах Визе, Врангеля, Голомянный и Диксон, а также станции м. Челюскин (обс. им. Е.К. Федорова) и Уэлен (см. табл. 1). При этом на двух из них (о. Визе и о. Голомянный) программа актинометрических наблюдений сокращена; с этих станций поступают лишь данные регистрации суммарной радиации. Следует отметить также, что актинометрические измерения на арктических станциях не проводятся во время полярной ночи.

Естественно, что отсутствие полной информации снижает уровень достоверности количественных оценок изменений анализируемых параметров, но оставляет возможность оценивать тенденции и качественные изменения радиационного режима различных районов Арктики. В качестве оценочных параметров используются нормированные на многолетние средние значения аномалий суммарной,  $Q$ , и поглощенной,  $Q-R$ , радиации.

### ОБЛАЧНОСТЬ

Как отмечалось выше, облачность непосредственным образом влияет на поступление солнечной радиации к подстилающей поверхности, поэтому рассмотрим изменения общей облачности на каждой станции после 2000 г. по сравнению с многолетними данными (рис. 1) в светлое время года, когда возможны актинометрические наблюдения (см. табл. 1).

После 2000 г. на о. Визе в феврале, марте и с мая по сентябрь отмечено некоторое повышение облачности, а в октябре — незначительное ее снижение по сравнению с многолетними данными.

На о. Диксон после 2000 г. количество общей облачности в течение всего года меньше, чем в среднем в предшествующие десятилетия. Максимальное уменьшение общей облачности по сравнению с многолетними данными (на 11 %) зарегистрировано в июне.

На о. Голомянный после 2000 г. в марте, апреле и октябре количество общей облачности несколько превышает многолетние значения. В то же время с июня по сентябрь — оно меньше примерно на полбалла.

На м. Челюскин и о. Врангеля характер различий в годовом ходе общей облачности практически такой же, как и на станции о. Голомянный.

На ст. Уэлен на протяжении всего года облачность за последние 17 лет превышала средние многолетние значения.

Если исходить из того, что вариации годовых сумм суммарной солнечной радиации определяются преимущественно вариациями общей облачности, то, при прочих одинаковых условиях, можно было бы ожидать некоторого увеличения поступающей на поверхность солнечной радиации на о. Диксон. На островах Визе и Врангеля и станции Уэлен отмеченное увеличение количества облачности должно было бы привести к уменьшению приходящей к поверхности радиации. Из-за того, что на о. Голомянный и м. Челюскин отмечено увеличение количества облачности весной и ее уменьшение во второй половине года, в среднем за светлый период года возможно как увеличение, так и уменьшение приходящей радиации после 2000 г. по сравнению с предшествующим периодом наблюдений.

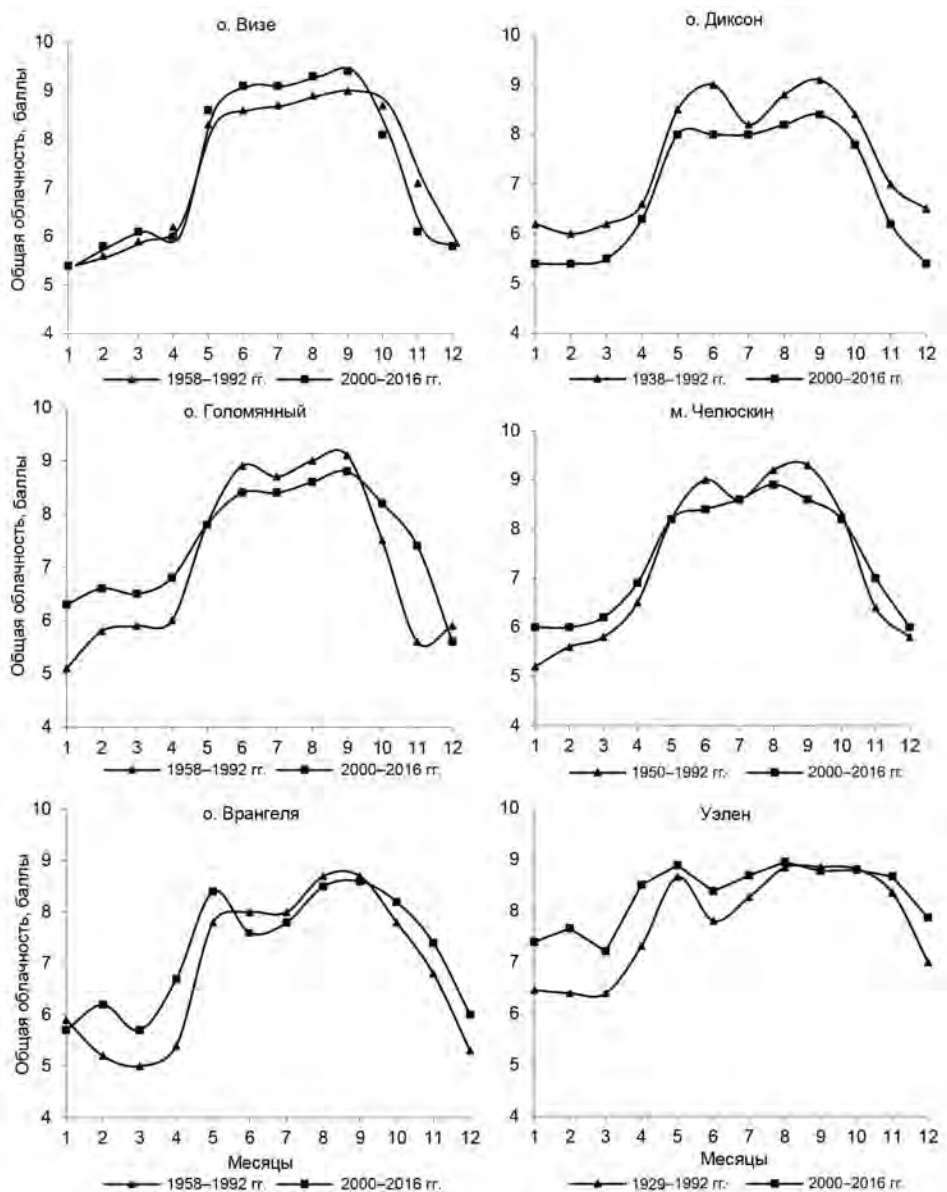


Рис. 1. Сравнение средних значений общей облачности на ряде арктических станций за многолетний период и после 2000 г.

### ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ ТОЛЩИНА

Еще одним фактором, влияющим на приход солнечной радиации к поверхности, является прозрачность атмосферы. В актинометрии ее принято характеризовать коэффициентом интегральной прозрачности  $P_2$  или интегральной оптической толщиной (ИОТ) атмосферы. ИОТ связана с  $P_2$  соотношением

$$\text{ИОТ} = -\ln P_2 = -0,5 \ln(S_{p,30}/S_0) = -(\sinh + 0,204) \ln(S(h)/S_0) / 1,41.$$

Здесь  $S_{p,30}$  — величина измеренного потока прямой солнечной радиации в кВт/м<sup>2</sup>, приведенная к среднему расстоянию от Земли до Солнца и оптической массе атмосферы  $m = 2$ ;  $S_0$  — величина потока радиации на верхней границе атмосферы;  $P_2$  — коэффициент интегральной прозрачности атмосферы при  $m = 2$ .

Параметр ИОТ представляет собой оптическую толщину атмосферы для прямой солнечной радиации в диапазоне длин волн  $\Delta\lambda = 0,3 - 4$  мкм при оптической массе  $m = 2$  (т.е. при высоте солнца 30°). Вариации величины ИОТ определяются вариациями молекулярного рассеяния, содержания аэрозоля и водяного пара в атмосфере, но наибольшая изменчивость характерна для аэрозольной составляющей.

Далее в качестве норм ИОТ использованы ее средние многолетние значения, рассчитанные по средним арифметическим значениям коэффициента прозрачности  $P_2$ , приведенным в (Научно-прикладной справочник..., 1997) для указанных станций за весь период работы каждой станции до 1992 г.

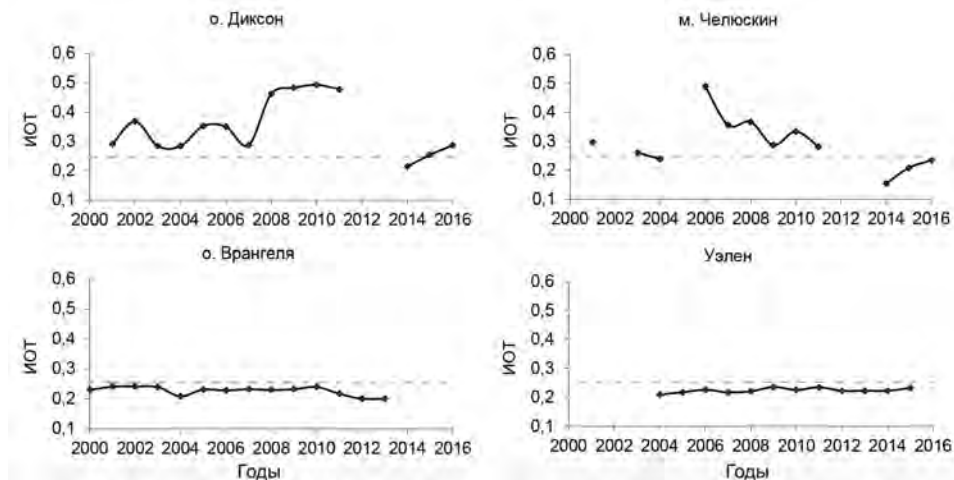


Рис. 2. Среднегодовые значения ИОТ на четырех арктических станциях и их средние многолетние значения (пунктир).

На рис. 2 приведены среднегодовые ИОТ после 2000 г. на рассматриваемых арктических станциях. Для каждой станции указана многолетняя норма ИОТ.

Из рисунка следует, что после 2000 г. на о. Диксон и м. Челюскин в Западной Арктике интегральная оптическая толщина до 2011 г. заметно превышала норму, в отдельные годы увеличиваясь более чем в 2 раза. Соответственно, прозрачность атмосферы была существенно снижена.

На станциях в Восточной Арктике (о. Врангеля и Уэлен) средние значения ИОТ были ниже многолетних норм, т.е. наблюдалась более высокая прозрачность атмосферы. Следует отметить, что по абсолютной величине на западных станциях — о. Диксон и м. Челюскин — после 2000 г. среднегодовые значения существенно превышают таковые на восточных станциях. К тому же восточные станции характеризуются гораздо меньшей межгодовой изменчивостью ИОТ. За весь рассматриваемый период среднегодовые значения на них варьировали в интервале 0,2–0,25 (Русина и др., 2013), в то время как на западных станциях этот интервал составлял 0,2–0,5, т.е. верхняя его граница сравнима с замутнением атмосферы в городских условиях (Климат..., 2010).

Таким образом, характер изменений интегральной оптической толщины и прозрачности атмосферы в Арктике после 2000 г., скорее всего, связан со спецификой поступления загрязняющих веществ в арктическую атмосферу. При этом выносы загрязняющих веществ в атмосферу оказывают гораздо большее влияние на уровни загрязнения в западном арктическом районе, нежели в восточном.

### СУММАРНАЯ РАДИАЦИЯ

На рис. 3 приведены для всех перечисленных станций аппроксимированные полиномом 6-й степени нормированные аномалии  $Q$  за весь период наблюдений и

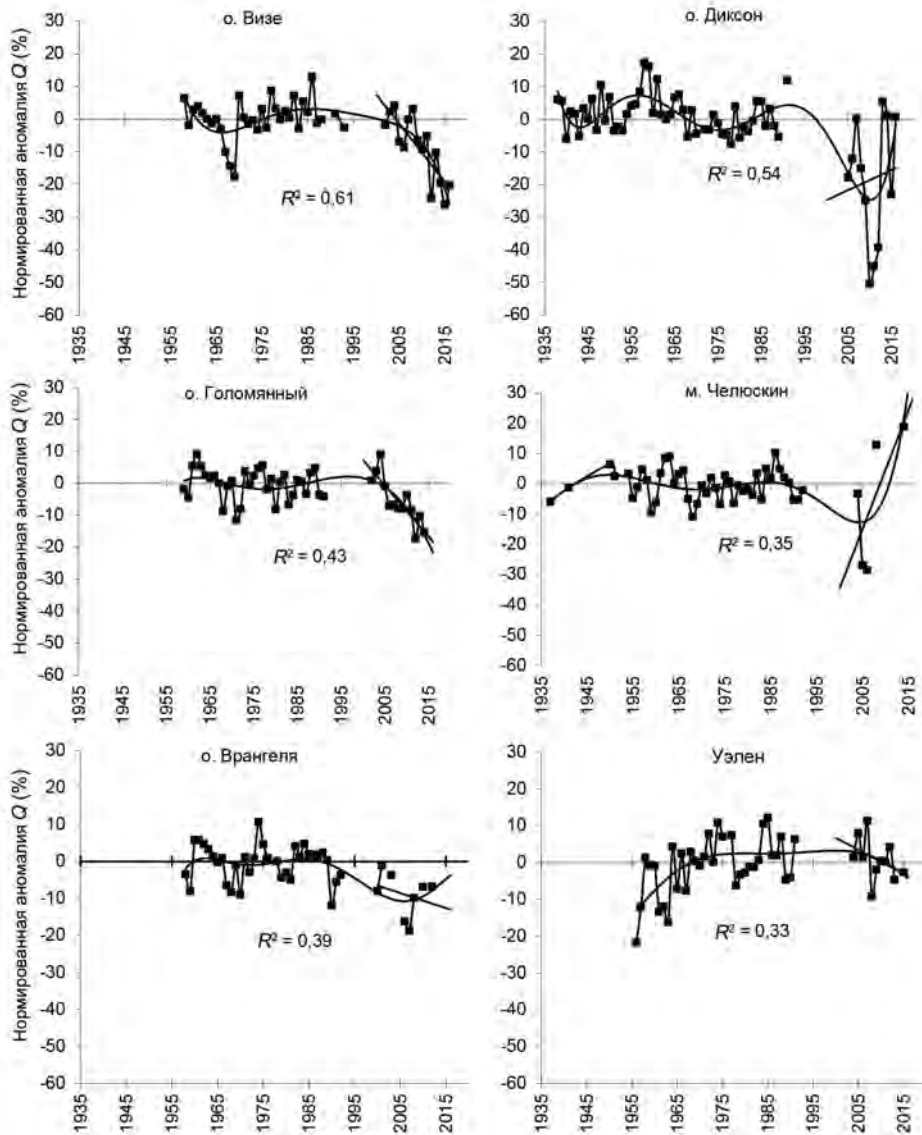


Рис. 3. Нормированные аномалии годовых сумм суммарной радиации  $Q$  на арктических станциях.

величина достоверности аппроксимации  $R^2$ . В качестве многолетних норм для годовых сумм суммарной радиации  $Q$  были использованы средние многолетние годовые суммы  $Q$  (МДж/м<sup>2</sup>), рассчитанные для каждой из рассматриваемых станций за 1961–1990 гг.

Предложенное для европейских станций авторами (Самукова и др., 2014) деление на периоды уменьшения и увеличения суммарной солнечной радиации на выбранных нами арктических станциях, по-видимому, невозможно из-за не менее чем десятилетнего перерыва в наблюдениях после 1992 г. Как уже указывалось ранее, в межгодовой изменчивости  $Q$  до 1992 г. не отмечено значимых тенденций ее возрастания или уменьшения.

После возобновления наблюдений на всех станциях, кроме Уэлена, нормированные аномалии  $Q$  перешли в область отрицательных значений, т.е. приход суммарной радиации оказался ниже многолетней нормы. Особенно сильно это уменьшение проявилось на станциях западного сектора Арктики, где отрицательные аномалии  $Q$  после 2000 г. даже имеют тенденцию к увеличению по абсолютной величине. При этом на станциях о. Диксон и м. Челюскин, при крайней нестабильности годовых сумм  $Q$ , после 2005 г. прослеживается относительное увеличение суммарной радиации, хотя нормированные аномалии суммарной радиации на этих станциях все же в основном находятся в области отрицательных значений.

Упомянутое выше значительное уменьшение прозрачности атмосферы на станции о. Диксон после 2000 г. в определенной степени скомпенсировало потенциально возможный эффект увеличения поступления суммарной солнечной радиации за счет уменьшения облачности. На станции м. Челюскин при уменьшении облачности в летний период отмечено увеличение суммарной радиации, особенно в последние годы, даже с переходом к положительным аномалиям  $Q$ . В то же время на островах Визе и Голомянный увеличения прихода суммарной радиации пока не наблюдалось. На станции Уэлен в последние годы также отмечается уменьшение годовых сумм суммарной радиации с переходом нормированных аномалий в зону отрицательных значений.

После 2000 г. сильная связь между годовыми суммами суммарной радиации  $Q$  и средними значениями ИОТ, характеризуемая величинами коэффициентов корреляции, наблюдается только на западных станциях о. Диксон и м. Челюскин (см. табл. 2), где имели место значительные изменения интегральной прозрачности атмосферы.

Таблица 2

**Коэффициенты корреляции,  $K$ , средних за год величин  $Q$  и ИОТ**

Станция	о. Диксон	м. Челюскин	о. Врангеля	Уэлен
$K$	-0,76	-0,69	0,16	-0,33

Таблица 3

**Коэффициенты взаимной корреляции для суммарной радиации на исследуемых арктических станциях**

Станция	о. Визе	о. Диксон	о. Голомянный	м. Челюскин	о. Врангеля	Уэлен
о. Визе	1,00	0,36	0,57	0,24	-0,25	0,02
о. Диксон		1	0,37	0,12	-0,70	-0,09
о. Голомянный			1	0,29	-0,31	-0,20
м. Челюскин				1	-0,09	-0,30
о. Врангеля					1	0,06



Мерой того, насколько связаны между собой изменения составляющих радиационного режима в различных районах Арктики и на отдельных станциях, могут служить величины коэффициентов взаимной корреляции. В табл. 3 приведены величины этих коэффициентов для годовых сумм приходящей суммарной радиации.

Из нее видно, что даже на станциях, расположенных в акватории Карского моря, величины  $Q$  не слишком сильно связаны между собой. Более тесная связь годовых сумм  $Q$  наблюдается только для островных станций в акватории Карского моря — островах Визе и Голомянный. Отрицательные значения коэффициентов взаимной корреляции значений  $Q$  на станциях в западной и восточной частях Арктики объясняются тем, что синоптические условия, формирующие радиационный режим, различны. Из этого следует, что на формирование радиационного режима даже в относительно небольшом, в масштабах Арктики, районе большее влияние оказывают местные особенности метеорологического режима конкретной территории, нежели средние для всего региона или отдельных его частей.

### ПОГЛОЩЕННАЯ РАДИАЦИЯ $Q - R$

Данными о поглощенной радиации мы располагаем лишь по четырем из анализируемых станций — островам Диксон и Врангеля и станциям м. Челюскин и Уэлен. Нормированные аномалии поглощенной радиации для этих четырех станций приведены на рис. 4. Нормы для  $Q - R$ , как и в случае суммарной радиации, считались за 1961–1990 гг. На станциях о. Диксон и м. Челюскин в Западной Арктике до 1992 г.

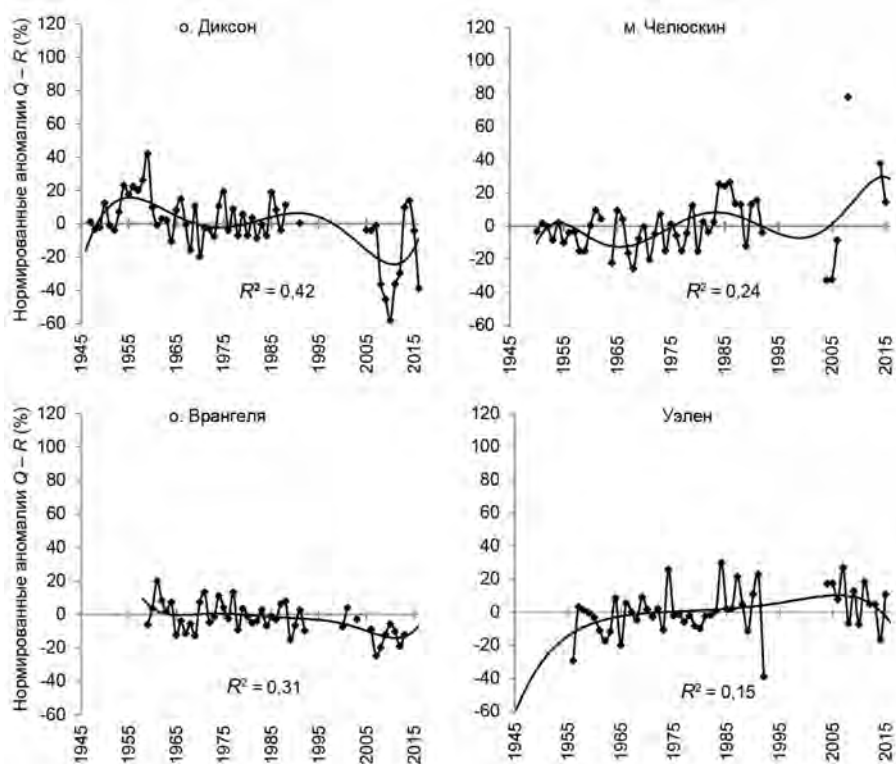


Рис. 4. Нормированные аномалии годовых сумм поглощенной радиации  $Q - R$ .

**Коэффициенты корреляции годовых сумм суммарной,  $Q$ , и поглощенной,  $Q - R$ , радиации для всего периода наблюдений и после 2000 г.**

Станция	Коэффициент корреляции/период	
о. Диксон	0,56/1944–2016	0,68/2005–2016
м. Челюскин	0,60/1950–2016	0,75/2004–2016
о. Врангеля	0,54/1958–2016	0,70/2000–2016
Уэлен	0,66/1956–2016	0,67/2004–2016

абсолютные величины нормированных аномалий изменялись от 20 до 40 %. После 2000 г. пределы их изменчивости существенно расширились:  $-60$  % на о. Диксон в 2010 г. и  $+80$  % на м. Челюскин в 2008 г.

На о. Врангеля до 1992 г. нормированные аномалии колеблются в обе стороны относительно нормы, а после 2000 г. также переходят в область отрицательных значений.

Подобная картина до 1992 г. наблюдается и на самой восточной станции Уэлен. Однако после 2004 г. Уэлен является единственной станцией, где прослеживается некоторое снижение нормированных аномалий, хотя при этом они остаются в основном, положительными.

Таким образом, с начала работы рассматриваемых станций и до 1992 г., когда поступление данных было прервано, значимых трендов поглощенной радиации зафиксировано не было. В начале нового века на исследуемых станциях наблюдаются значительные по абсолютной величине, но неодинаковые по знаку изменения поглощенной радиации.

В многолетнем же ходе  $Q - R$  прослеживается тенденция уменьшения количества поглощенной солнечной радиации на островах Диксон и Врангеля, а на м. Челюскин и в Уэлене — тенденция увеличения.

В целом многолетний ход поглощенной радиации, как и можно было ожидать, повторяет ход суммарной радиации (см. рис. 3 и 4 и табл. 4).

### ВЫВОДЫ

Характер изменений общей облачности после 2000 г. по сравнению с предыдущим периодом (до 1992 г.) различен в разных регионах Арктики, что оказывает существенное влияние на поступление суммарной радиации в этих районах.

Интегральная оптическая толщина арктической атмосферы существенно зависит от дальнего переноса загрязняющих веществ из умеренных широт Северного полушария. После 2000 г. специфика изменений прозрачности в Арктике, скорее всего, определялась направлением и интенсивностью поступления загрязняющих веществ в арктическую атмосферу, влияние которых в западном и центральном арктических районах оказалось существенно выше, чем в восточном.

После 2000 г. практически на всех анализируемых станциях нормированные аномалии  $Q$  перешли в область отрицательных значений, т.е. приход суммарной радиации оказался ниже многолетней нормы. На станциях западного сектора Арктики отмечено более значительное уменьшение суммарной радиации по сравнению с таковым на станциях в Восточной Арктике.

С начала работы рассматриваемых станций и до 1992 г. значимых трендов поглощенной радиации зафиксировано не было. В начале нового века на исследуемых

станциях наблюдаются значительные по абсолютной величине, но неодинаковые по знаку изменения этой составляющей радиационного баланса.

Длительных (в несколько десятилетий) периодов уменьшения и последующего увеличения приходящей солнечной радиации, наблюдавшихся на европейских станциях и названных глобальным помутнением и просветлением, на российских арктических актинометрических станциях не выявлено.

*Авторы выражают глубокую благодарность Г.В. Алексееву за инициирование написания статьи и предоставление библиографических источников, данные из которых использованы в статье; А.А. Мишину за систематизацию и критический контроль сетевых актинометрических данных; Е.И. Александрову за предоставление информации по облачности в Арктическом регионе.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Климат Санкт-Петербурга и его изменения / Под ред. В.П. Мелешко, А.В. Мещерской, Е.И. Хлебниковой. СПб.: ГГО, 2010. 256 с.

*Маришнова М.С., Радионов В.Ф., Цветков А.В.* Длиннопериодные изменения интегральной прозрачности атмосферы Арктики. Мониторинг климата Арктики. Л.: Гидрометеоздат, 1988. С. 122–131.

Научно-прикладной справочник по климату России (Арктический регион). Солнечная радиация. СПб.: Гидрометеоздат, 1997. 230 с.

*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.

*Русина Е.Н., Радионов В.Ф., Сибир Е.Е.* Изменчивость аэрозольно-оптических параметров атмосферы в северной и южной полярных областях после 2000 г. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2013. № 1 (95). С. 51–60.

*Самукова Е.А., Горбаренко Е.В., Ерохина А.Е.* Многолетние изменения солнечной радиации на территории Европы // Метеорология и гидрология. 2014. № 8. С. 15–24.

*Abakumova G.M., Feigelson E.M., Russak V.K., Stadnik V.V.* Evaluation of long-term changes in radiation, cloudiness and surface temperature on the territory of the former Soviet Union // J. of Climate. 1996. Vol. 9. P. 1319–1327.

*Gilgen H., Roesch A., Wild M., Ohmura A.* Decadal changes of shortwave irradiance at the surface in the period 1960 to 2000 estimated from Global Energy Balance Archive // J. of Geophys. Res. 2009. Vol. 114. D00D08; doi:10.1007/s00704-009-0226-6.

*Grimenes A.A., Thue-Hansen V.* The reduction of global radiation in south-eastern Norway during the last 50 years // Theor. Appl. Climatol. 2006. Vol. 85. P. 37–40.

*Norris J.R., Wild M.* Trends of aerosol radiative effects over Europe inferred from observed cloud cover, solar “dimming” and solar “brightening” // J. Geophys. Res. 2007. Vol. 112. D08214; doi: 10.1029/2006JD007794.

*Ohmura A.* Observed decadal variations in surface solar radiation and their causes // J. of Geophys. Res. 2009. Vol. 114. D00D05; doi: 10.1029/2008JD011290.

*Ohvri H., et al.* Global dimming/brightening versus atmospheric column transparency and volcanic activity // J. of Geophys. Res. 2009. Vol. 114. D00D12; doi:10.1029/2008JD010644.

*Stanhill G.* Global irradiance, air pollution and temperature changes in the Arctic // Philos. Trans. R. Soc., Ser. A. 1995. Vol. 352. P. 247–258. doi: 10.1098/rsta.1995.0068.

*Stjern C.W., Kristjansson J.E., Hansen A.W.* Global dimming and brightening: An analysis of surface radiation and cloud cover data in northern Europe // *International J. of Climatology*, 2009. Vol. 29. P. 643–653; doi:10.1002/joc.1735.

*Weston S.T., Bailey W.G., McArthur L.J.B., Hertzman O.* Interannual solar and net radiation trends in the Canadian Arctic // *J. of Geophys. Res.* 2007. Vol. 112. D10105; doi:10.1029/2006JD008000.

*Wild M.* Global dimming and brightening: A review // *J. of Geophys. Res.* 2009. Vol. 114. D00D16; doi:10.1029/2008JD011470.

*Wild M., Trüssel B., Ohmura A., Long C.N., Dutton E.G., Köning-Laango G., Tsvetkov A.* Global dimming and brightening: And update beyond 2000 // *J. of Geophys. Res.* 2009. Vol. 114. D00D13; doi:10.1029/2008JD011382.

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

## **LONG-TERM VARIABILITY OF ANNUAL SUMS OF TOTAL AND ABSORBED SOLAR RADIATION IN THE ARCTIC**

Variability of total ( $Q$ ) and absorbed ( $Q - R$ ) radiation after the year 2000 at some Russian Arctic stations in comparison with the long-term variability of these characteristics since the beginning of observations and until 1992 was investigated. As estimating parameters, the normalized by multiyear averages for 1961–1990 of anomalies of annual sums of total and absorbed radiation were chosen. We have analyzed the variability of total cloudiness and integral optical thickness characterizing transparency of the atmosphere as the factors producing the largest influence on total radiation incoming to the land surface. The integral optical thickness of the atmosphere in the Arctic after 2000 was most likely determined by specifics of air pollutants coming to the Arctic atmosphere and was significantly higher in the western Arctic area, than in the eastern one. After 2000 practically at all stations considered, the income of total radiation appeared to be below the multiyear average. Significant by the absolute value, but different by the sign, changes of absorbed radiation were recorded. The long-term periods of decrease and the subsequent increase of the incoming solar radiation observed at the European stations and called as “global dimming and global brightening” were not revealed at the Russian Arctic actinometric stations.

*Keywords:* total optical depth, total and absorbed solar radiation, Arctic stations, atmospheric transparency.