

## **МЕТОДИКА МОНИТОРИНГА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ**

*Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных, Калужская обл. г. Обнинск*

### **Введение**

Продолжительность солнечного сияния (ПСС) наряду с температурой воздуха и атмосферными осадками относится к основным характеристикам приземного климата. Свидетельством важности этого метеорологического элемента является, в частности, включение ПСС в систему климатического мониторинга ВМО, в рамках которого осуществляется выпуск регионального бюллетеня для Европы и Среднего Востока [10].

Создание в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» базы данных «Суммарная за месяц продолжительность солнечного сияния на станциях России» [2] и доступность оперативных сводок «КЛИМАТ», содержащих информацию о ПСС за прошедший месяц, позволили приступить к мониторингу этого параметра на территории Российской Федерации по аналогии с температурой воздуха и атмосферными осадками [4]. Результаты анализа данных о ПСС помещаются на сайте ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» [3] и опубликованы [5–8].

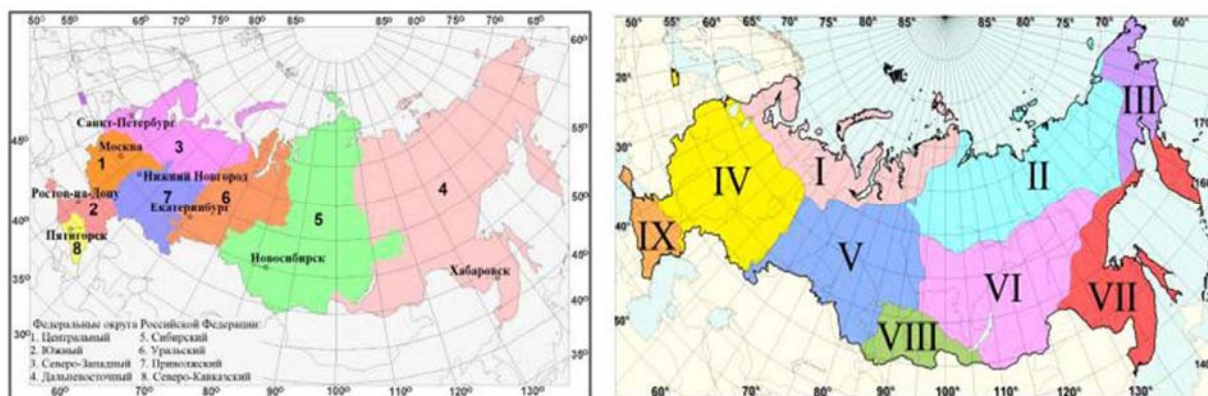
Методика мониторинга ПСС была разработана в рамках НИР 1.3.1.1. «Мониторинг глобального климата и климата Российской Федерации и ее регионов, включая Арктику. Развитие и модернизация технологий мониторинга» Плана НИР и ОКР Росгидромета на 2020–2024 гг. и предназначена для получения материалов, помещаемых в годовой Доклад Росгидромета [9].

Основное содержание раздела годового Доклада Росгидромета и бюллетеня ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» с оценками мониторинга ПСС составляют данные о климатических аномалиях истекшего года и обновленные (с учетом этих данных) оценки современных тенденций в изменениях режима ПСС на территории Российской Федерации. Оценки рассчитываются по данным метеорологических станций, которые ежемесячно в оперативном

режиме передают сводки КЛИМАТ и для которых имеются «нормы» (средние многолетние значения).

Полученные по данным метеорологических станций оценки приводятся в виде карт для территории России, а также в виде региональных средних. Осреднение проводится для всей территории Российской Федерации, по ее европейской (ЕЧР) и азиатской (АЧР) частям, восьми федеральным округам и девяти квазиоднородным физико-географическим районам (рис. 1).

Квазиоднородные климатические регионы выбраны на основании классификации Б.П. Алисова [1] и используются в отделе климатологии ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» при мониторинге различных характеристик приземного климата (температура воздуха, атмосферные осадки, снежный покров и др.).



**Рис. 1.** Федеральные округа (слева) и квазиоднородные климатические регионы (справа):  
I – Север ЕЧР и Западной Сибири, II – Северная часть Восточной Сибири и Якутии,  
III – Чукотка и север Камчатки, IV – Центр ЕЧР, V - Центр и юг Западной Сибири,  
VI – Центр и юг Восточной Сибири, VII – Дальний Восток, VIII – Алтай и Саяны,  
IX – Юг ЕЧР.

Временные ряды для региональных средних приводятся за период наблюдений с 1961 года. Они дополняются скользящими 11-летними средними и линейным трендом, характеризующим тенденцию (среднюю скорость) изменений рассматриваемой величины на заданном отрезке времени. Тренд рассчитывается методом наименьших квадратов и выражен в часах или процентах за десятилетие (ч/10лет, %/10лет). На рисунках он представлен для периода с 1976 года, условно принятого за начало современного глобального потепления.

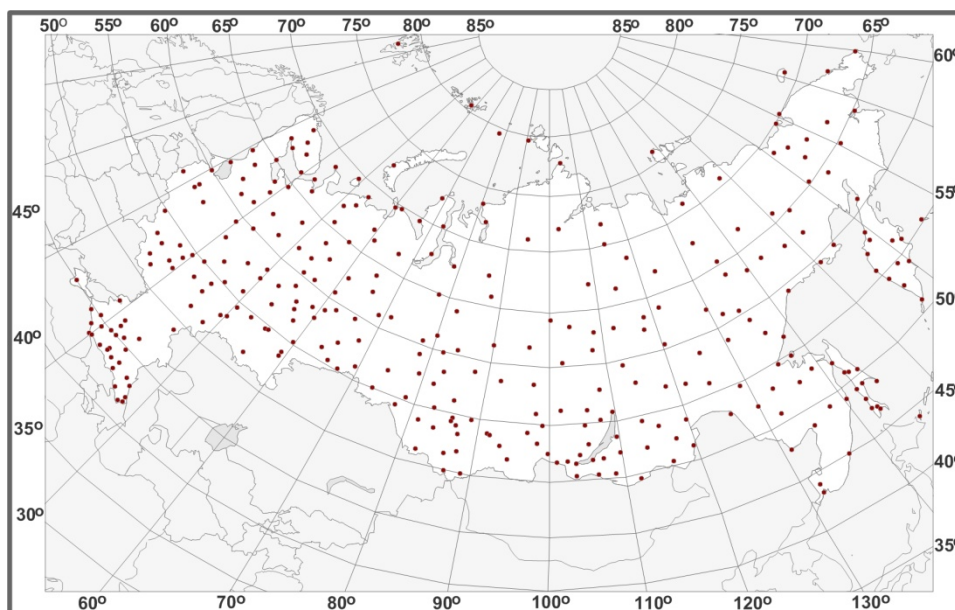
### Информационная база

Для мониторинга изменений климата необходимы как исторические ряды данных, так и оперативная информация. Архив исторических данных по продолжительности солнечного сияния сформирован в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» в рамках НИР, выполнявшихся в период с

2010 года. Источниками для создания массива в период с начала наблюдений по 1983 год послужили печатные издания. Начиная с 1984 года для пополнения архива используются данные на технических носителях Госфонда (ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»). Кроме самих значений месячных сумм ПСС, записи с 1984 г. содержат признаки качества.

Данные месячных сумм ПСС поступают в Госфонд в потоке режимной метеорологической информации из УГМС Росгидромета, где подвергаются комплексному контролю. Значения, не прошедшие контроль, получают признак качества «б» и заменяются константой отсутствия.

На основе массива режимной информации сформирован файл данных для мониторинга ПСС, который в настоящее время включает данные 315 станций сети Росгидромета, присылающих ежемесячно в оперативном режиме по каналам связи сводки КЛИМАТ с данными месячных сумм ПСС начиная с 1961 г., когда с увеличением числа станций существенно улучшилась территориальная освещенность данными. Основные сведения о станциях представлены в каталоге станций. На рис. 2 показано пространственное распределение станций, входящих в массив данных для мониторинга ПСС на территории Российской Федерации.



**Рис. 2.** Расположение метеорологических станций сети Росгидромета из массива данных для мониторинга ПСС.

### **Краткое описание технологии мониторинга**

Рассматриваемая технология предназначена для осуществления мониторинга климата и его изменений применительно к одной компоненте приземного климата – продолжительности солнечного сияния. В соответствии с поставленными задачами

технология должна, во-первых, обеспечить регулярное слежение за текущим состоянием ПСС на территории Российской Федерации, оценку степени его аномальности и выявление наиболее ярких климатических экстремумов, а во-вторых, регулярное обновление оценок климатических трендов, характеризующих современные тенденции происходящих изменений климата.

Технология мониторинга ПСС включает следующие основные этапы:

- усвоение оперативных данных и их сопряжение с историческими рядами;
- расчет характеристик мониторинга ПСС для территории Российской Федерации;
- расчет характеристик мониторинга по регионально осредненным временным рядам ПСС;
- подготовка выходных материалов.

Для функционирования технологии выделена папка *MSS*, в которой содержатся все необходимые технические средства, входные данные, результаты расчетов и выходные материалы мониторинга. Поскольку с переходом к новому календарному году входная информация практически не меняется, технологический цикл ограничен одним годом. В частности, для практического осуществления мониторинга в 2021 г. была создана папка *MSS21*, которая включает вложенную папку общего назначения *CAT* с каталогами станций, необходимыми для процедур осреднения, графического отображения результатов на картах и др.

Вычислительные работы для получения материалов мониторинга сгруппированы в четыре блока. Результаты работы каждого блока заносятся в одноименную папку. Все расчеты проводятся с использованием системы статистического анализа *SAS*.

Назначение **блока 1 (BDAT)** – подготовка данных для проведения расчетов. В рамках этого блока решаются следующие задачи: рассчитываются нормы суммарной за месяц/сезон/год ПСС (средние значения за 30-летний период, которые обновляются один раз в 10 лет) и многолетние статистики за период с 1961 г. (средние значения, стандартные отклонения, минимальные и максимальные значения), которые используются для создания файла параметров контроля; формируется порция данных за прошедший год, при этом используется доступная режимная информация, а для недостающих месяцев – информация из сводок КЛИМАТ; проводится ее статистический контроль и обновление (продление) базового массива мониторинга.

Осуществляется расчет аномалий: для каждой станции рассчитываются аномалии месячных сумм ПСС – отклонения от норм, средних многолетних значений за базовый 30-летний период. В настоящее время – это период 1981–2010 гг. (с 2022 г. будет период 1991–2020 гг.). Сезонные аномалии получаются суммированием месячных аномалий, если

присутствуют данные не менее чем за два месяца, а годовые (январь-декабрь) – при наличии данных не менее чем за 10 месяцев. Значения суммарной за сезон/год продолжительности солнечного сияния на станциях ( $SS$ , часы) восстанавливаются с использованием соответствующих норм и используются для расчета относительных аномалий ( $RS$ , %) – отношение к норме, выраженное в процентах. Расчет дополнительных характеристик аномалий (процентили, вероятности превышения, ранги) осуществляется по данным за период с 1961 г. по прошедший год.

Назначение **блока 2 (ВМАР)** – расчет статистических характеристик полей аномалий ПСС и подготовка данных для их представления в графическом виде. В данной технологии построение карт осуществляется с помощью графического пакета *SURFER*. При построении карт проводится визуальный пространственный анализ сомнительных значений, полученных на этапе статистического контроля. В результате подготавливается файл исправлений и проводится корректировка исходных данных (забракованные значения заменяются константой отсутствия). Для всех станций рассчитываются границы 5 и 95-го процентилей ПСС и формируются списки станций, попадающих в 5%-ные месячные и сезонные экстремумы (для нанесения на карты месячных и сезонных аномалий). Осуществляется расчет характеристик тренда сезонных сумм ПСС на станциях, где присутствуют данные за прошедший год. Рассчитываются угловые коэффициенты линейного тренда  $b$  (в расчете на 10 лет) за период с 1976 г., определяется их статистическая значимость  $z$  и вклад тренда в суммарную дисперсию ряда  $D$ . Формируются списки станций со значимым на 5%-ном уровне трендом.

Назначение **блока 3 (EREG)** – получение рядов пространственно осредненных аномалий ПСС и расчет их статистических параметров. Ввиду географической неоднородности в распределении климатических переменных и при наличии пропусков во временных рядах наблюдений пространственное осреднение рекомендуется выполнять по данным об аномалиях метеоэлемента. В действующей технологии осреднение проводится в два этапа. Первоначально территория региона покрывается регулярной сеткой ( $1^\circ$  широты  $\times$   $2^\circ$  долготы) и в каждой ячейке сетки рассчитывается среднее арифметическое из попавших в эту ячейку станционных аномалий. Затем выполняется осреднение с весами, пропорциональными площади ячеек.

Месячные и сезонные нормы ПСС для регионов рассчитываются по нормам для станций (также один раз в десятилетие). Средние региональные значения ПСС получают суммированием регионально осредненных норм и регионально осредненных аномалий, а относительные аномалии – делением текущего значения региональной средней ПСС на региональную норму. Рассчитываются статистические оценки, характеризующие аномалии

регионов в прошедшем году (вероятности неперевышения, ранги в возрастающем и убывающем ряду), определяются регионы, в которых месячная/ сезонная ПСС попала в 5 и 95-й процентиля. Рассчитываются характеристики линейного тренда абсолютных и относительных аномалий для регионов ( $b$ ,  $z$ ,  $D$ ). Формируются ряды для построения графиков многолетних изменений сезонных/годовых аномалий ПСС в регионах, проводится их сглаживание путем 11-летнего скользящего осреднения.

Программы **блока 4 (FTAB)** обеспечивают формирование данных для таблиц.

### **Подготовка выходных материалов**

В состав выходных материалов мониторинга продолжительности солнечного сияния входит иллюстративный материал (таблицы, карты, графики) и подготовленный на его основе текст, содержащий анализ текущих климатических аномалий и наблюдаемых изменений в режиме ПСС.

Построение карт осуществляется с помощью графического пакета *SURFER*, построение графиков многолетних рядов и получение линии тренда – в *EXCEL*, подготовка сложных рисунков – с помощью *Adobe Photoshop*.

### **Результаты использования методики**

98

Начиная с 2019 года один из разделов годового Доклада Росгидромета об особенностях климата на территории Российской Федерации посвящен анализу режима солнечного сияния.

#### ***Состав материалов раздела «Продолжительность солнечного сияния» годового Доклада Росгидромета об особенностях климата на территории Российской Федерации***

В разделе «Продолжительность солнечного сияния» помещаются результаты анализа данных о ПСС на территории Российской Федерации и ее регионов в прошедшем году в сравнении с многолетними нормами и ранее наблюдавшимися экстремумами (подраздел 1), а также приводятся регулярно обновляемые оценки современных тенденций изменений режима ПСС: географическое распределение станционных оценок трендов и таблицы региональных трендов, а также временные ряды регионально осредненных аномалий ПСС (подраздел 2).

Содержание подразделов приводится ниже в виде перечня получаемых таблиц и рисунков, а также некоторых примеров для 2021 года.

## **Подраздел 1. Продолжительность солнечного сияния на территории России**

Таблицы подраздела 1:

- относительные аномалии суммарной за год и сезоны продолжительности солнечного сияния в регионах России и вероятность ее непревышения;
- относительные аномалии суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния, осредненной по регионам России.

Рисунки подраздела 1:

- пространственное распределение суммарной за год продолжительности солнечного сияния и ее относительных аномалий на территории Российской Федерации;
- пространственное распределение относительных аномалий сезонной продолжительности солнечного сияния на территории Российской Федерации;
- пространственное распределение относительных аномалий продолжительности солнечного сияния на территории Российской Федерации в декабре;
- относительные аномалии суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния, осредненной по территории Российской Федерации, ее европейской и азиатской частей.

В качестве иллюстрации приведем оценки аномалий сезонных сумм ПСС для регионов Российской Федерации в 2021 г. (табл. 1) и карту, где представлено географическое распределение относительных аномалий сезонной продолжительности солнечного сияния на территории Российской Федерации (рис. 3). Годовой ход регионально осредненных аномалий ПСС (для Российской Федерации в целом и ее европейской и азиатской частей) показан на рис. 4.

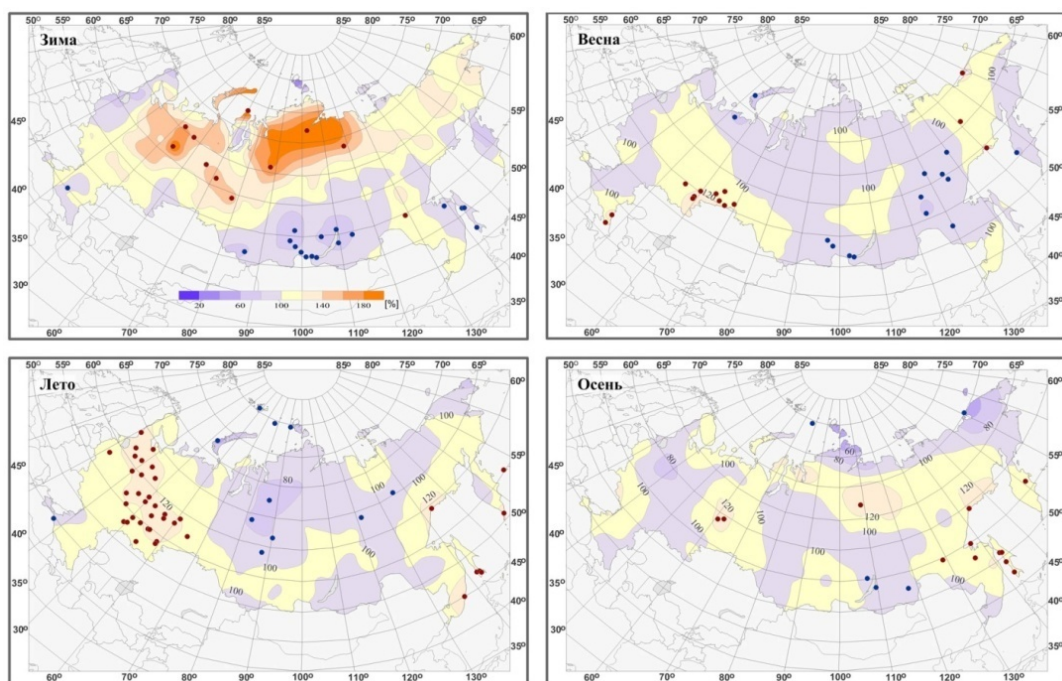
Таблица 1

### **Относительные аномалии суммарной за год и сезоны продолжительности солнечного сияния ( $RS$ , %) в регионах России и вероятность ее непревышения ( $P$ , %) в 2021 г.**

(желтым цветом выделены значения, попавшие в пять максимальных, серым – в пять минимальных)

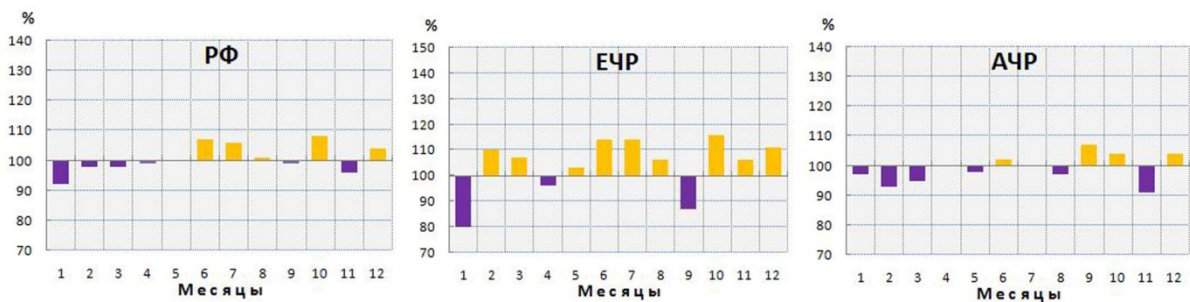
Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	$RS$	$P$	$RS$	$P$	$RS$	$P$	$RS$	$P$	$RS$	$P$
Российская Федерация	102	72	100	45	99	43	105	98	102	58
ЕЧР	106	85	109	72	102	70	112	98	99	43
АЧР	99	33	97	27	98	27	100	53	103	62
<i>Физико-географические регионы Российской Федерации</i>										
Север ЕЧР и Западной Сибири	101	53	123	78	92	20	104	60	104	62
Север Восточной Сибири и Якутии	103	72	126	85	104	70	98	37	108	70
Чукотка и север Камчатки	96	40	115	78	94	30	98	48	89	25
Центр ЕЧР	109	92	115	77	105	82	116	100	97	47
Центр и юг Западной Сибири	102	72	114	77	103	65	99	52	102	50
Центр и юг Восточной Сибири	95	7	89	15	95	15	96	18	96	23

Дальний Восток	102	70	96	30	95	15	108	95	109	95
Алтай и Саяны	97	18	88	8	94	15	101	48	102	62
Юг ЕЧР	102	57	99	50	103	55	104	60	101	42
<i>Федеральные округа Российской Федерации</i>										
Центральный	103	72	110	60	98	45	109	87	103	57
Южный	99	38	103	55	96	38	100	42	104	63
Северо-Западный	107	85	120	80	98	40	114	92	98	35
Дальневосточный	99	22	95	25	96	10	100	55	104	77
Сибирский	98	23	94	32	98	43	98	33	98	38
Уральский	107	92	115	73	106	85	106	82	110	75
Приволжский	109	95	120	80	105	82	117	98	96	45
Северо-Кавказский	105	78	96	37	111	88	109	87	95	23



**Рис. 3.** Пространственное распределение относительных аномалий сезонной продолжительности солнечного сияния на территории Российской Федерации в 2021 г.

*Кружками синего цвета показано местоположение станций с экстремумами ниже 5-го перцентиля, коричневого цвета – выше 95-го перцентиля.*



**Рис. 4.** Относительные аномалии суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния, осредненной по территории Российской Федерации, ее европейской и азиатской частей в 2021 г.

## Подраздел 2. Тенденции современных изменений продолжительности солнечного сияния на территории России

Таблицы подраздела 2:

- оценки линейного тренда относительных аномалий продолжительности солнечного сияния, осредненной по регионам России;
- оценки линейного тренда аномалий годовой и сезонной продолжительности солнечного сияния, осредненной по территории Российской Федерации, ее европейской и азиатской частей.

Рисунки подраздела 2:

- пространственное распределение коэффициентов линейного тренда относительных аномалий *годовой* продолжительности солнечного сияния на территории России;
- пространственное распределение коэффициентов линейного тренда относительных аномалий *сезонной* продолжительности солнечного сияния на территории России;
- многолетние изменения относительных аномалий годовой и сезонной продолжительности солнечного сияния, осредненной по территории Российской Федерации, ее европейской и азиатской частей;
- многолетние изменения относительных аномалий суммарной за год продолжительности солнечного сияния, осредненной по квазиоднородным физико-географическим регионам и федеральным округам Российской Федерации.

101

Для примера приведем таблицу с оценками параметров линейного тренда регионально осредненных сезонных и годовых аномалий ПСС (табл. 2) и карту с географическим распределением коэффициентов линейного тренда относительных аномалий сезонных сумм ПСС на территории России (рис. 5). Многолетние ряды регионально осредненных относительных аномалий годовой и сезонной продолжительности солнечного сияния показаны на рис. 6.

Таблица 2

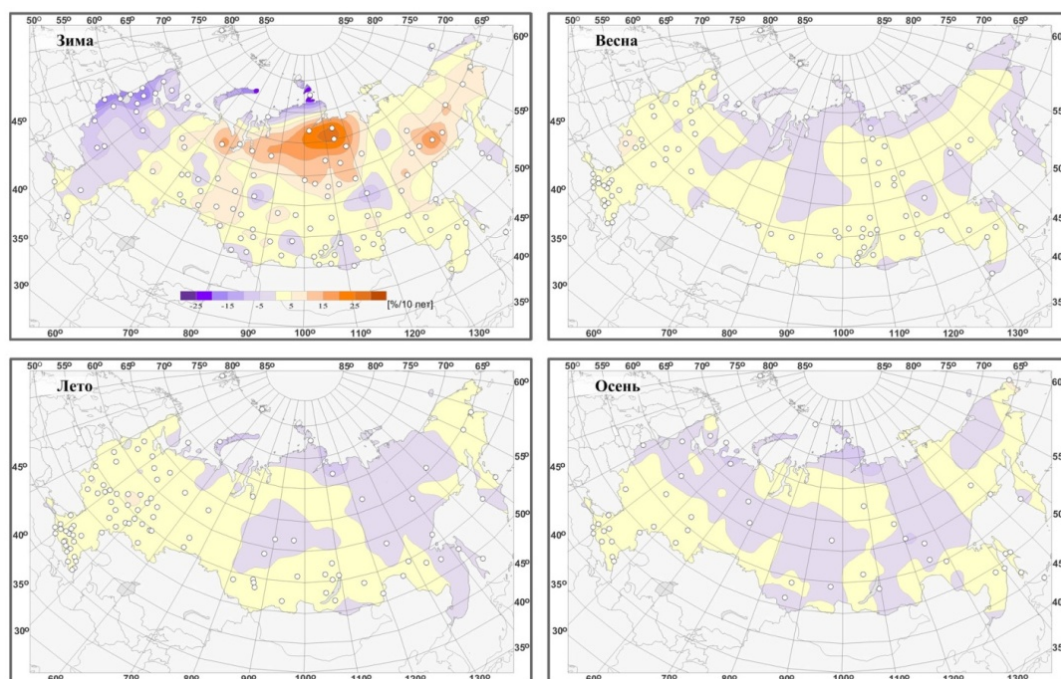
**Оценки линейного тренда относительных аномалий продолжительности солнечного сияния, осредненных по регионам России; 1976-2021 гг.**

(*b* – коэффициент линейного тренда (%/10 лет), *D* – вклад тренда в общую дисперсию ряда (%).

Тренд статистически значимый на 5%-ном уровне показан жирным шрифтом.)

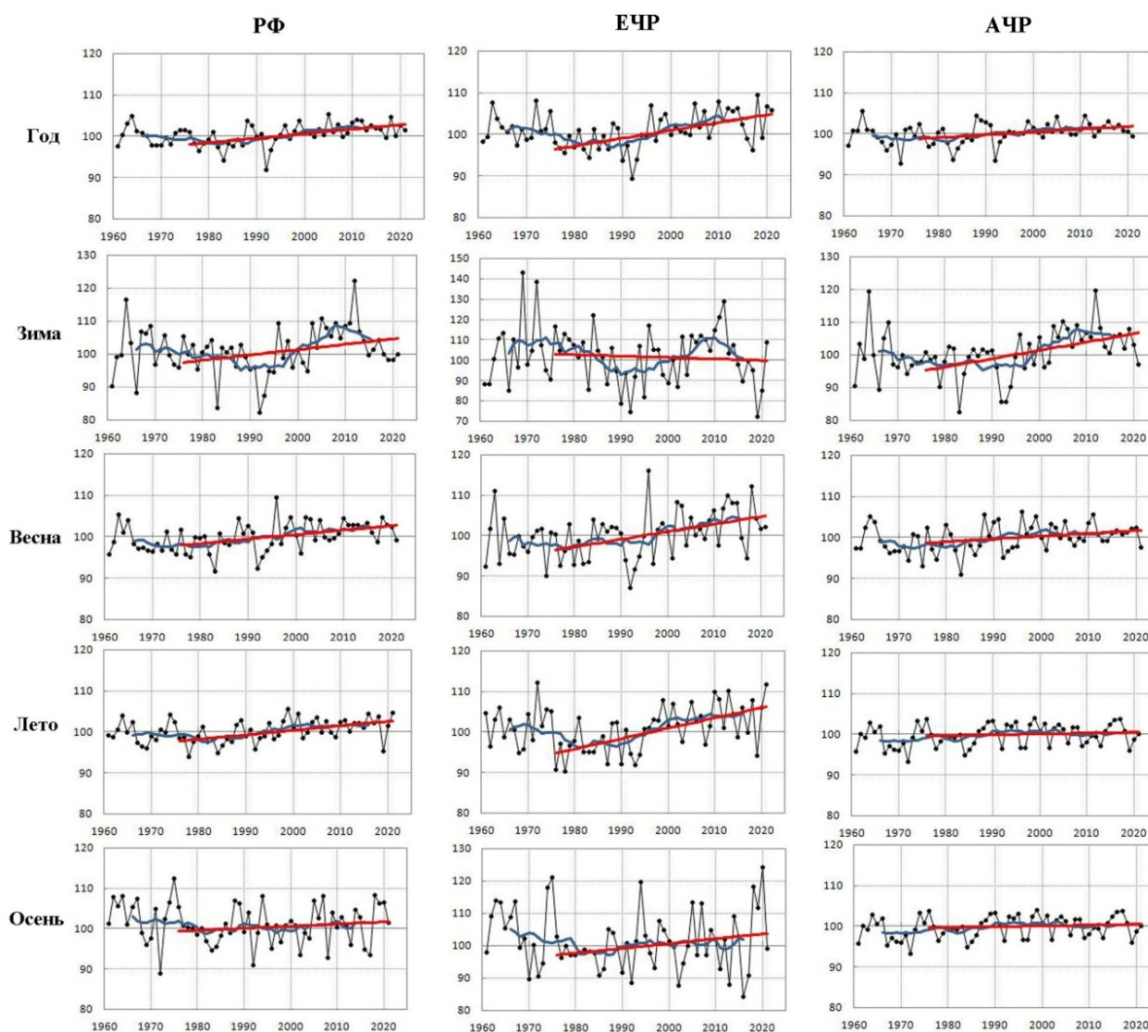
Регион	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	<i>b</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	<i>D</i>
Российская Федерация	<b>1.1</b>	<b>30</b>	<b>1.6</b>	<b>10</b>	<b>1.1</b>	<b>17</b>	<b>1.1</b>	<b>29</b>	0.5	3
ЕЧР	<b>1.9</b>	<b>33</b>	-0.7	1	<b>1.9</b>	<b>18</b>	<b>2.6</b>	<b>38</b>	1.4	5
АЧР	<b>0.7</b>	<b>14</b>	<b>2.5</b>	<b>24</b>	0.7	8	0.2	1	0.0	0
<i>Физико-географические регионы Российской Федерации</i>										
Север ЕЧР и Западной Сибири	-0.3	0	-2.1	1	-0.5	1	0.2	0	-1.8	3

Север Восточной Сибири и Якутии	0.6	6	<b>9.0</b>	<b>36</b>	0.6	3	-0.3	1	-0.4	0
Чукотка и север Камчатки	0.1	0	3.5	4	<b>-2.4</b>	<b>9</b>	1.7	5	-0.2	0
Центр ЕЧР	<b>2.0</b>	<b>19</b>	-1.2	1	<b>1.7</b>	<b>9</b>	<b>2.9</b>	<b>28</b>	1.7	3
Центр и юг Западной Сибири	0.6	3	<b>3.9</b>	<b>9</b>	0.5	1	0.4	1	-0.6	0
Центр и юг Восточной Сибири	<b>0.9</b>	<b>16</b>	<b>2.5</b>	<b>20</b>	<b>1.4</b>	<b>20</b>	0.4	2	-0.2	0
Дальний Восток	0.4	4	<b>1.7</b>	<b>12</b>	0.5	1	-0.9	3	0.9	5
Алтай и Саяны	0.8	8	1.1	3	1.1	6	0.8	5	0.0	0
Юг ЕЧР	<b>2.7</b>	<b>45</b>	0.6	0	<b>3.4</b>	<b>25</b>	<b>3.1</b>	<b>48</b>	<b>2.1</b>	<b>10</b>
<i>Федеральные округа Российской Федерации</i>										
Центральный	<b>2.6</b>	<b>22</b>	-5.4	8	<b>3.5</b>	<b>19</b>	<b>3.4</b>	<b>30</b>	2.2	3
Южный	<b>3.1</b>	<b>46</b>	0.9	1	<b>3.8</b>	<b>22</b>	<b>3.2</b>	<b>43</b>	<b>2.7</b>	<b>14</b>
Северо-Западный	0.4	1	-5.0	8	0.8	2	1.1	3	-2.0	4
Дальневосточный	<b>0.5</b>	<b>12</b>	<b>2.2</b>	<b>21</b>	0.6	6	-0.2	1	0.3	1
Сибирский	<b>0.8</b>	<b>10</b>	<b>2.8</b>	<b>11</b>	1.0	6	0.4	2	-0.2	0
Уральский	0.9	4	3.7	7	0.1	0	1.3	4	-0.1	0
Приволжский	<b>2.3</b>	<b>18</b>	0.8	0	1.2	3	<b>3.3</b>	<b>27</b>	2.5	5
Северо-Кавказский	<b>2.4</b>	<b>38</b>	0.3	0	<b>3.0</b>	<b>22</b>	<b>3.2</b>	<b>43</b>	1.7	6



**Рис. 5.** Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда относительных аномалий сезонной продолжительности солнечного сияния на территории России по данным за 1976-2021 гг. (%/10 лет).

*Белыми кружками выделены станции, для которых тренд статистически значим на 5%-ном уровне.*



**Рис. 6.** Относительные аномалии (%) годовой и сезонной продолжительности солнечного сияния, осредненной по территории Российской Федерации, ее европейской и азиатской частей.

### Рекомендации по внедрению

«Методика мониторинга климата: продолжительность солнечного сияния» была рассмотрена на заседании Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам (ЦМКП) Росгидромета. В своем Решении от 29.03.2022 ЦМКП одобрила работу ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» по созданию Методики и рекомендовала использовать ее для подготовки раздела ежегодного «Доклада об особенностях климата на территории Российской Федерации».

### Список литературы

1. Алисов Б.П. Климат СССР. М.: Московский Университет, 1956. – 127 с.
2. Анасова Е.Г., Клещенко Л.К. Описание массива данных суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния на станциях России. <http://meteo.ru/data/160-sunshine-duration#описание-массива-данных>

3. Климатические условия на территории России. <http://meteo.ru/pogoda-i-klimat/93-klimaticheskie-usloviya/179-klimaticheskie-usloviya-na-territorii-rossii>
4. Мониторинг климата России. [http://climatechange.igce.ru/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=32&Itemid=75&lang=ru](http://climatechange.igce.ru/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=32&Itemid=75&lang=ru).
5. *Клещенко Л.К.* Некоторые результаты статистического анализа данных о продолжительности солнечного сияния на территории России // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 2018. – Вып. 181. – С. 69–85.
6. *Клещенко Л.К.* Мониторинг продолжительности солнечного сияния на территории России // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 2018. – Вып. 182. – С. 29–46.
7. *Клещенко Л.К.* Тенденции современных изменений продолжительности солнечного сияния на территории России // Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы. Материалы международной научно-практической конференции (г. Воронеж, 3-5 октября 2019 г.). Том 1. – Воронеж: Изд-во Цифровая полиграфия, 2019. – С. 53-59.
8. *Клещенко Л.К.* Региональные особенности режима солнечного сияния на территории России в 2019 году // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 2020. – Вып. 186. – С. 101–117.
9. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 год. М: Росгидромет, 2022. – 104 с.
10. Annual Bulletin on the Climate in WMO Region VI – Europe and Middle East – 2019. <https://www.dwd.de/EN/ourservices/ravibulletinjahr/ravibulletinjahr.html>.