

**ПРИМЕНЕНИЕ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ  
ОЦЕНКИ РАЗЛИЧИЙ ПРИКЛАДНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ  
ИНДЕКСОВ САТ И СЭТ**

*Е.Н. Попова<sup>1)\*</sup>, В.В. Ясюкевич<sup>2)</sup>, И.О. Попов<sup>2)</sup>*

<sup>1)</sup> Институт географии РАН,  
РФ, 109017 Москва, Старомонетный пер., 29; \**en\_popova@mail.ru*

<sup>2)</sup> Институт глобального климата и экологии имени академика Ю. А. Израэля,  
РФ, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, д. 20Б; \**v1959@yandex.ru, igor\_o\_popov@mail.ru*

**Реферат.** Для территории России и сопредельных государств построены карты с изолиниями значений суммы активных температур (САТ) и суммы эффективных температур (СЭТ) от 500°C до 3500°C с шагом 500°C при нижнем пороге 10°C за период 1981-2010 гг., которые ограничивают географические области, где эти климатические индексы превышают или не достигают указанных величин. С помощью карт выявлены различия в площадях территорий, ограниченных одинаковыми изолиниями рассмотренных климатических индексов. Показана важность корректного использования индексов САТ и СЭТ для определения границ ареалов различных пойкилотермных организмов, среди которых много опасных интродуцированных и инвазионных видов, обоснована необходимость четкого понимания их различий для построения прогнозных моделей.

**Ключевые слова.** Сумма активных температур, сумма эффективных температур, изолинии, географические области.

**Введение**

Одним из наиболее важных и всеобъемлющих по своему действию климатических факторов является температура окружающей среды. Особенно существенно от нее зависит жизнедеятельность организмов, не обладающих способностью поддерживать постоянную температуру внутренней среды, – пойкилотермных организмов (Бигон и др., 1989). К ним относятся растения, грибы, низшие позвоночные, беспозвоночные, вирусы и бактерии. Среди этих организмов очень много социально и экономически значимых объектов – возбудителей и переносчиков различных заболеваний человека, животных и растений, опасных вредителей сельского и лесного хозяйства.

Для каждого вида такого организма существуют специфические пределы выживаемости под действием того или иного фактора внешней среды, в данном случае, температуры. Предельно высокие и предельно низкие темпера-

---

турные значения, ограничивающие жизнедеятельность вида, называются соответственно верхним и нижним порогом его развития. Между этими двумя порогами находятся тепловые значения, благоприятные и оптимальные для развития вида, в них протекают все фазы его активной жизнедеятельности. Подобные температурные критерии установлены для многих изучаемых видов, в частности, для малярийных комаров *Anopheles messeae* Fall (Руководство по медицинской энтомологии, 1974).

Для математического моделирования климатических ареалов различных организмов, в том числе имеющих важное значение для жизнедеятельности человека, наиболее часто используются прикладные климатические индексы САТ и СЭТ. В соответствии с ГОСТ 17713-89 они определяются следующим образом:

**Сумма активных температур (САТ)** – «показатель, пропорциональный количеству тепла и выражающийся суммой средних суточных температур воздуха или почвы, превышающих биологический минимум температуры».

**Сумма эффективных температур (СЭТ)** – «показатель, пропорциональный количеству тепла, выраженный суммой средних суточных температур воздуха или почвы, уменьшенных на величину биологического минимума температуры».

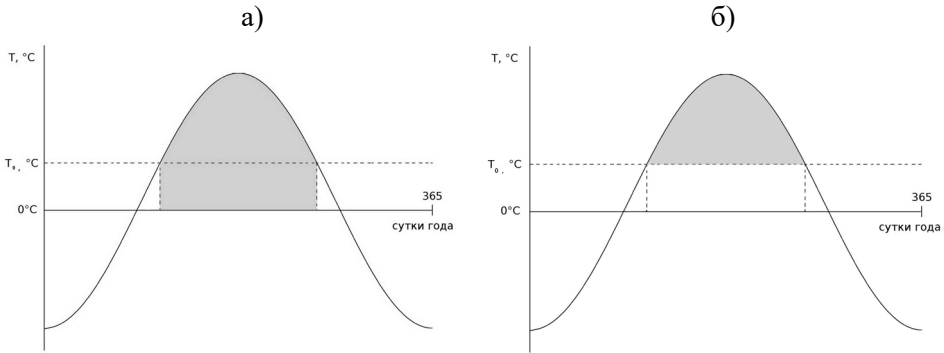
Под «биологическим минимумом температуры» в ГОСТ 17713-89, относящемуся к сельскохозяйственной метеорологии, понимается «минимальное значение температуры, являющееся началом жизнедеятельности сельскохозяйственных растений». При изучении других пойкилотермных биологических объектов вместо «биологического минимума температуры» используется термин «нижний температурный порог развития вида», т.е. тот температурный минимум, при достижении которого в организме данного вида активизируются различные физиологические процессы и начинается активная стадия его жизнедеятельности. Это положительные температуры, чаще всего превышающие 10°C.

Подробный методологический разбор вычислений этих значений, их графическое представление и соотнесение с зарубежными аналогами, а также сферы применения каждого из этих климатических индексов изложены нами в работе (Попова и др., 2017). На рис. 1 дано графическое изображение, показывающее различие в индексах САТ (рис. 1а) и СЭТ (рис. 1б), которые представляют собой площади областей под кривой годового хода среднесуточной температуры, выделенные серым цветом.

В нашей многолетней практике мы использовали эти климатические индексы для моделирования потенциальных климатических ареалов различных биологических объектов: возбудителя малярии (Ясюкевич, 2004; Ясюкевич, Гельвер, 2003), иксодовых клещей – переносчиков возбудителей болезней человека и животных (Попов, 2016), лесных (Ясюкевич и др., 2014 а, б) и сельскохозяйственных (Попова, Попов, 2013; Попова, 2014; Ророва, Semenov, 2013; Rorova et al., 2016) вредителей. При анализе литературных источников мы многократно сталкивались с тем, что авторы используемых (цитируемых) публикаций не различают понятия «сумма активных темпера-

---

тур» и «сумма эффективных температур», подменяя одно другим или смешивая их.



**Рисунок 1.** Графическое изображение основных прикладных климатических индексов:

а) САТ; б) СЭТ (Попова и др., 2017)

$T_0$  – нижний порог развития или биологический минимум температуры

Целью настоящей работы стало наглядное картографическое изображение различий географических областей, ограниченных изолиниями САТ и СЭТ на территории России и сопредельных государств, а также обоснование важности корректного использования этих климатических индексов для модельных расчетов.

## Материалы и методы

Нами были рассчитаны средние за 30-летний период (1981-2010 гг.) годовые климатические индексы САТ и СЭТ с нижним порогом  $10^{\circ}\text{C}$ . Для этого использовали исходную метеорологическую информацию с сайта Всероссийского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИИГМИ-МЦД Росгидромета), на котором размещены ряды среднесуточных значений данных измерений температуры воздуха, полученные из сети метеорологических станций международного обмена, расположенных на территории России и сопредельных государств (<http://www.meteo.ru>). Методика вычислений описана в работах (Семенов, Гельвер, 2002; Семенов и др., 2006).

Для расчета климатического индекса САТ использовали формулу:

$$T_a = \sum_{n=1}^d T_{n, > T_0} \quad (1)$$

где  $T_a$  – сумма активных температур воздуха (САТ),  $T_n$  – среднесуточные значения температуры воздуха выше температурного порога  $T_0$ , который в настоящей работе равен  $10^{\circ}\text{C}$ , за временной период  $d$ , соответствующий количеству дней в году.

Расчет климатического индекса СЭТ выполняли по формуле:

$$T_e = \sum_{n=1}^d (T_{n,>T_0} - T_0) \quad (2)$$

где:  $T_e$  – сумма эффективных температур воздуха (СЭТ),  $T_n$  – среднесуточные значения температуры воздуха выше температурного порога  $T_0$ , равного  $10^\circ\text{C}$ , за временной период  $d$ , составляющий количество дней в году.

Размерность величин САТ и СЭТ есть [ $^\circ\text{C} \times \text{время}$ ]. Однако в литературе обычно для суммы среднесуточных значений указываются только  $^\circ\text{C}$ . В данной работе, поскольку и САТ, и СЭТ рассчитывались, исходя из среднесуточных значений температуры воздуха за год, мы также используем размерность  $^\circ\text{C}$ .

На основе полученных расчетных данных были построены карты с изолиниями значений САТ и СЭТ от 500 до  $3500^\circ\text{C}$  с шагом  $500^\circ\text{C}$ , ограничивающие географические области, где они превышают или не достигают указанных величин. Построение карт и нанесение на них изолиний исследуемых климатических параметров осуществлялось при помощи пакета электронного картографирования Basemap для языка программирования Python (<http://matplotlib.org/basemap>), созданного на основе библиотеки построения научной графики и визуализации данных matplotlib (Hunter, 2007). Обработка данных производилась с помощью программ, написанных на языках программирования Fortran 77 и Python 2.7. В последнем случае применялся пакет векторной обработки данных numpy 1.8.

## Результаты и обсуждение

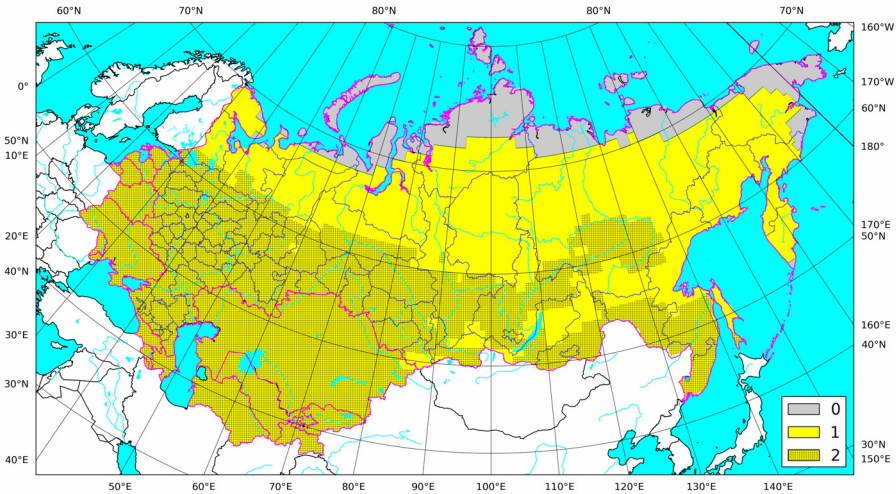
### *Карты значений САТ и СЭТ на территории России и сопредельных государств*

Построенные нами карты, на которых выделены географические области, ограниченные изолиниями усредненных для периода 1981-2010 гг. значений САТ и СЭТ от 500 до  $3500^\circ\text{C}$ , с шагом  $500^\circ\text{C}$ , при нижнем пороге  $10^\circ\text{C}$ , изображены на рисунках 2-8. Подборка этих карт представляет собой своеобразный «миниатлас» значений сумм активных и эффективных температур на территории России и сопредельных государств за указанный период, с помощью которого можно оценить корректность применения климатических индексов САТ и СЭТ в исследованиях других авторов для выделения ими территории распространения или проявления тех или иных фенологических особенностей изучаемых биологических организмов.

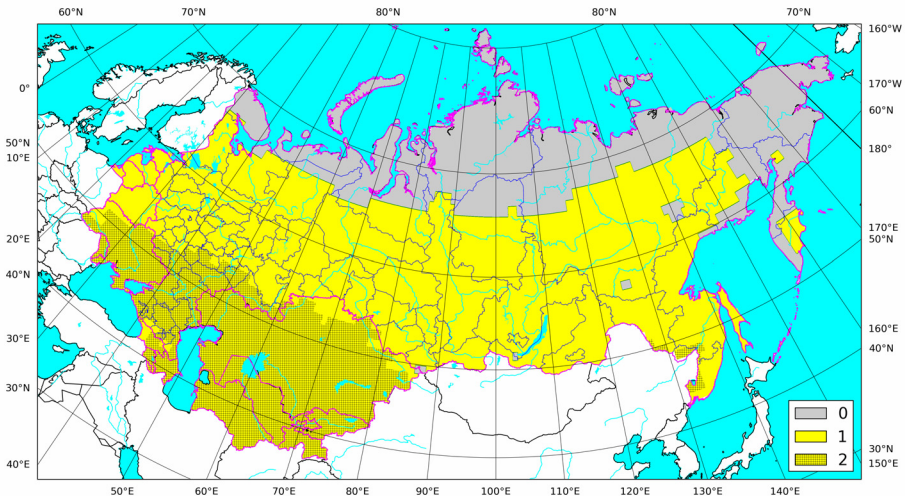
Карты (рис. 2-8) построены по единому принципу: желтым цветом показана область территории бывшего СССР, где САТ превышает заданное значение для данной карты, на неё штриховкой наложена другая область, где СЭТ аналогичным образом превышает это заданное значение. Серым цветом показана территория, где и САТ, и СЭТ меньше заданного значения. Легко видеть, что площадь территории, занимаемая СЭТ, всегда меньше, чем площадь территории, занимаемая САТ, и разница между ними тем больше, чем выше заданное значение

---

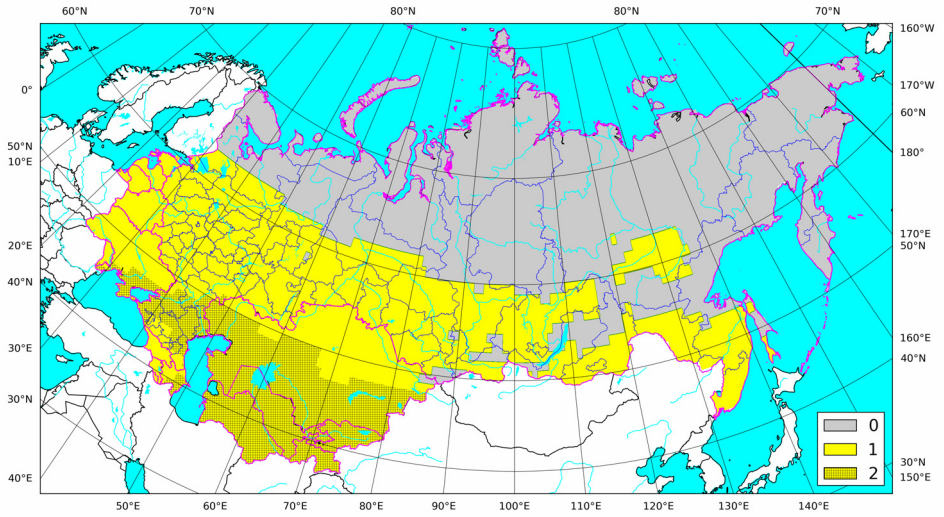
суммы температур, что, впрочем, следует и из рис. 1а и б. Географическая область при значении  $SAT \geq 500^\circ C$  занимает почти всю рассматриваемую территорию, за исключением районов Крайнего Севера на Азиатской территории России (рис. 2). На заключительном рис. 8 видно, что географическая область с  $SЭТ \geq 3500^\circ C$  на территории бывшего СССР отсутствует.



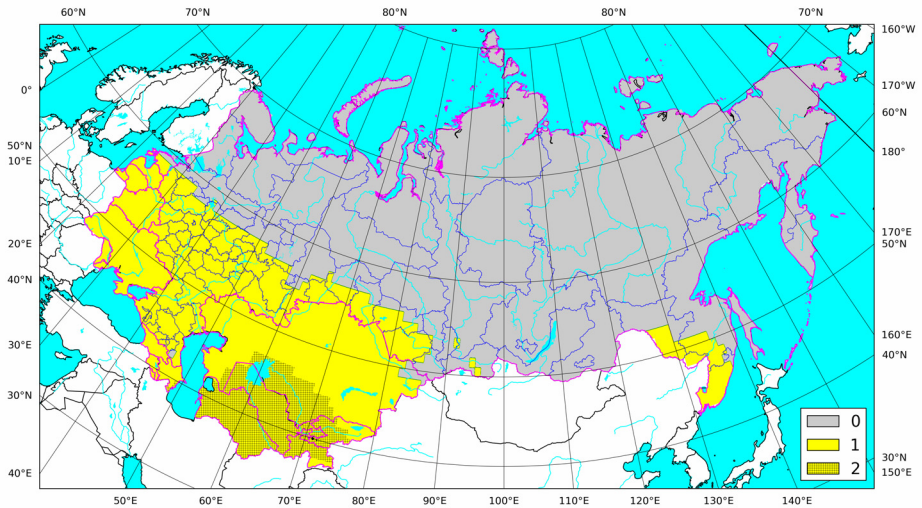
**Рисунок 2.** Географические области, где  $SAT$  (1) и  $SЭТ$  (2)  $\geq 500^\circ C$  при пороговом значении  $10^\circ C$   
 0 – значения  $SAT$ , и  $SЭТ$   $< 500^\circ C$



**Рисунок 3.** Географические области, где  $SAT$  (1) и  $SЭТ$  (2)  $\geq 1000^\circ C$  при пороговом значении  $10^\circ C$   
 0 – значения  $SAT$ , и  $SЭТ$   $< 1000^\circ C$

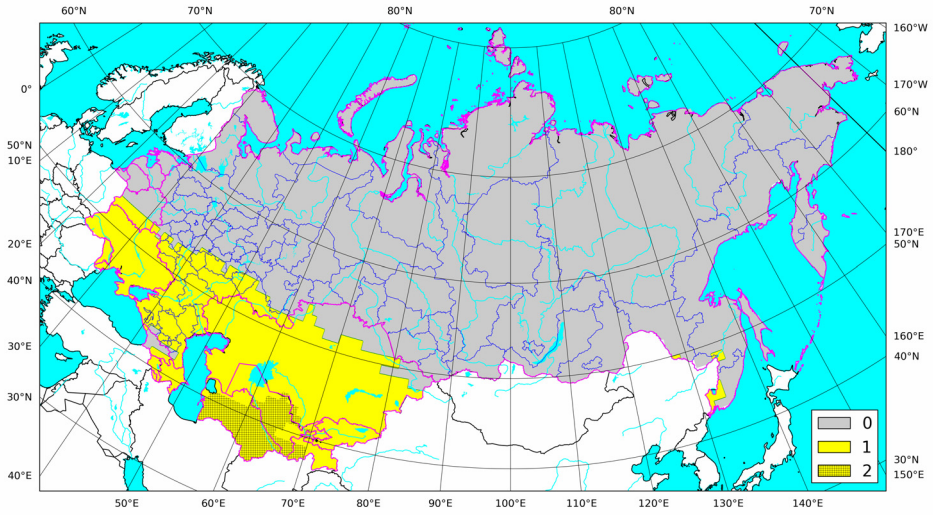


**Рисунок 4.** Географические области, где САТ (1) и СЭТ (2)  $\geq 1500^\circ\text{C}$  при пороговом значении  $10^\circ\text{C}$   
*0* – значения и САТ, и СЭТ  $< 1500^\circ\text{C}$

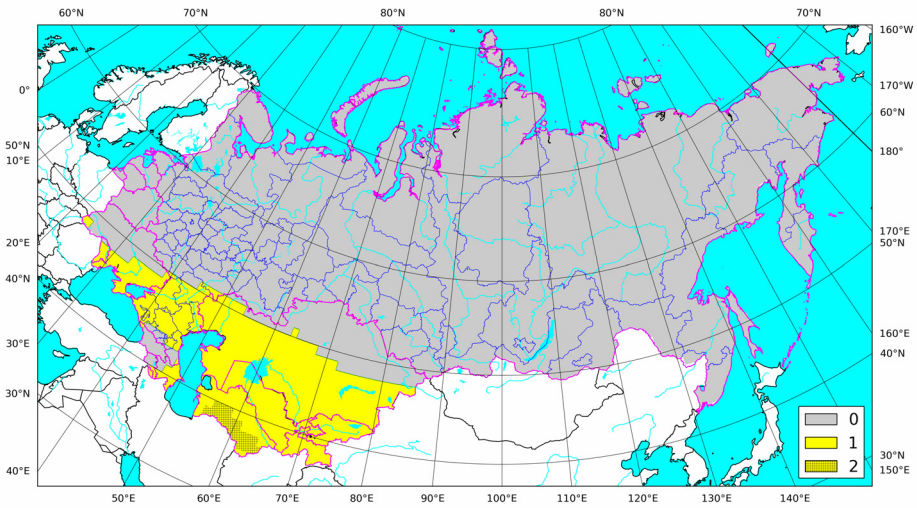


**Рисунок 5.** Географические области, где САТ (1) и СЭТ (2)  $\geq 2000^\circ\text{C}$  при пороговом значении  $10^\circ\text{C}$   
*0* – значения и САТ, и СЭТ  $< 2000^\circ\text{C}$

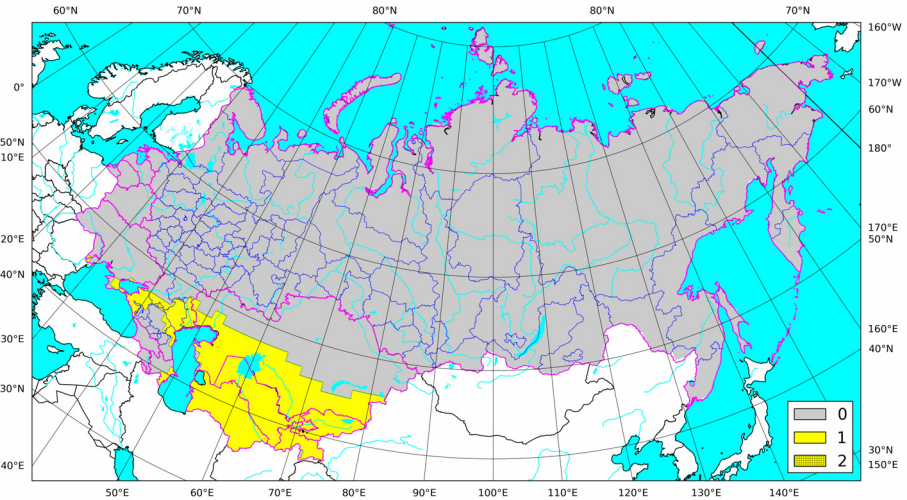




**Рисунок 6.** Географические области, где САТ (1) и СЭТ (2)  $\geq 2500^\circ\text{C}$  при пороговом значении  $10^\circ\text{C}$   
 0 – значения и САТ, и СЭТ  $< 2500^\circ\text{C}$



**Рисунок 7.** Географические области, где САТ (1) и СЭТ (2)  $\geq 3000^\circ\text{C}$  при пороговом значении  $10^\circ\text{C}$   
 0 – значения и САТ, и СЭТ  $< 3000^\circ\text{C}$ .



**Рисунок 8.** Географическая область, где САТ (1)  $\geq 3500^\circ\text{C}$  при пороговом значении  $10^\circ\text{C}$   
0 – значения САТ  $< 3500^\circ\text{C}$

Географическая область, где СЭТ(2)  $\geq 3500^\circ\text{C}$  на рассматриваемой территории отсутствует

### ***Примеры некорректного использования прикладных климатических индексов САТ и СЭТ***

В работе (Ясюкевич и др., 2014б) авторы подробно описали биологию и историю формирования вторичного ареала американской белой бабочки (*Hуphantria cunea* (Drury, 1770), Arctiidae, Lepidoptera), а также предприняли попытку математического моделирования её ареала. Выбор климатических предикторов основывался на ряде литературных источников, в том числе и работах А.Х. Саулич (Саулич, 1994, 1999; Саулич, Волкович, 2004). В частности, она пришла к выводу, что для развития одного поколения *Hуphantria cunea* нужна СЭТ  $800-1000^\circ\text{C}$  при пороге  $10^\circ\text{C}$ . На территории бывшего СССР американская белая бабочка развивается в двух поколениях (бивольтинна), поэтому в качестве основного предиктора была выбрана СЭТ  $\geq 2000^\circ\text{C}$  с нижним порогом  $10^\circ\text{C}$  (этот же порог используется и далее в разделе).

Полученный результат показал, что *Hуphantria cunea* на территории Европейской части бывшего СССР существовать не может. Условия для ее развития в двух поколениях есть только в республиках Средней Азии и на юге Казахстана (рис. 5, штриховка). Это противоречит многочисленным фактическим данным о ее распространении на территории Европейской части бывшего СССР. При замене предиктора СЭТ на САТ (рис. 5, желтое поле) модельные данные совпадают с данными о фактическом и прогнозируемом распространении американской белой бабочки (более подробно см. Ясюкевич и др., 2014б).



А. С. Шамилов (2011), характеризуя «Температурные условия в зоне проведения исследований и потенциального ареала американской белой бабочки на Дальнем Востоке» со ссылкой на Агроклиматический атлас мира (1972) приводит следующие данные по СЭТ, °С: Биробиджан (2200-2400), Хабаровск (2200-2600), Уссурийск (2200-2700), Белгород (2500-2700), Благовещенск (2790-3000), Махачкала (3500-4100). Однако, обращаясь к рис. 5-8, легко видеть, что указанные населенные пункты попадают в географические области, где  $SAT \geq 2000^\circ C$  (все рассматриваемые города),  $SAT \geq 2500^\circ C$  (Белгород, Благовещенск, Махачкала) и  $SAT \geq 3500^\circ C$  (только Махачкала), но никак не СЭТ с вышеуказанными значениями, тем более что области, где  $SЭТ \geq 3500^\circ C$ , на территории бывшего СССР вообще не существует (рис. 8).

У.Ш. Магомедов и Н.М. Атанов (2012), рассматривая возможности акклиматизации средиземноморской плодовой мухи *Ceratitis capitata* (Wiedemann, 1824) в России, указывают, что при завозе холодостойкой расы из Южной Европы в зоне между  $44^\circ$  и  $53^\circ$  с. ш., характеризующейся СЭТ  $3000 \div 3800^\circ C$ , вредитель способен образовывать многолетние очаги. В зоне между  $40^\circ$  и  $45^\circ$  с. ш., где, по мнению авторов,  $SЭТ \geq 3800^\circ C$ , возможно сезонное существование тропической расы плодовой мухи. Обратившись к рис. 7 и 8, легко видеть, что область  $SЭТ \geq 3000^\circ C$  находится только на юге Туркменистана, а область  $SЭТ \geq 3800^\circ C$  на территории России, как и бывшего СССР, отсутствует.

В очень интересной и актуальной статье С.Е. Смирновой (2006) о мировом нозоареале Крымской (Крым-Конго геморрагической) лихорадки автор приходит к выводу, что северная граница нозоареала проходит в Евразии по линии Венгрия – Донецкая область – Астраханская область – озеро Балхаш по изомерме  $SЭТ = 3000^\circ C$  ( $48^\circ - 50^\circ$  с. ш.) Далее автор указывает, что  $SЭТ = 2800 \div 3000^\circ C$  характерна для европейских очагов и предгорий Азиатской части бывшего СССР, а в пустынях и полупустынях стран Центральной Азии (Таджикистан, Туркменистан, Узбекистан, Кыргызстан и Казахстан)  $SЭТ = 4000 \div 5860^\circ C$  (Смирнова, 2006). Однако, согласно нашим построениям, область, где  $SЭТ \geq 3000^\circ C$  при пороговом значении  $10^\circ C$  расположена только в южной части Республики Туркменистан на границе с Ираном и Афганистаном (рис. 7). Аналогичные расчеты для  $SЭТ \geq 3500^\circ C$  показали, что область, где было бы такое значение СЭТ, на территории бывшего СССР отсутствует. Однако изолиния  $SAT = 3000^\circ C$ , отмеченная на рис. 7, вполне удовлетворительно совпадает с северной границей нозоареала Крым-Конго геморрагической лихорадки, показанной в работе Смирновой (2006).

Источник ошибок в том, что авторы приведенных работ неверно трактуют данные, приводимые в Агроклиматическом атласе... (1972). В этой книге карты названы (дословно): «Суммы температур воздуха за период с температурой выше  $10^\circ C$ », без указания активные или эффективные это температуры. Как мы показали выше, между значениями SAT и СЭТ существует значительная разница. Неточность формулировки приводит к тому, что авторы ошибочно полагают, что в этом издании приведен расчет суммы эффективных температур. Для сравнения, в более позднем интерактивном Агроатласе...

(Афонин и др., 2008) недвусмысленно указано, что на картах показаны суммы активных температур при пороговых значениях  $\geq 0 \div 20^{\circ}\text{C}$  с шагом  $5^{\circ}\text{C}$ .

Разумеется, авторы не ставят перед собой задачу принизить хоть в малейшей степени значение этих содержательных и полезных статей. Цель заключалась в том, чтобы объяснить различия между понятиями «САТ» и «СЭТ», и необходимость корректного их использования, поскольку одно порой подменяется другим.

### **Заключение**

Таким образом, на основе построенных нами карт с изолиниями одинаковых значений разных климатических индексов – САТ и СЭТ – от  $500$  до  $3500^{\circ}\text{C}$ , с шагом  $500^{\circ}\text{C}$  при нижнем пороге  $10^{\circ}\text{C}$ , усредненных за период 1981-2010 гг., выявлены существенные различия в площадях географических областей, где эти индексы превышают или не достигают указанных величин. На многочисленном литературном материале показано, как неправильное использование одного индекса вместо другого (обычно СЭТ вместо САТ) приводит к искажению полученных данных и неверной трактовке наблюдаемого или потенциально возможного распространения биологических объектов, среди которых много опасных интродуцированных и инвазионных видов, наносящих значительный вред здоровью и экономической деятельности человека. Подобные ложно сделанные заключения могут привести к опасным последствиям, не учтению различными государственными службами, занимающимися мониторингом распространения вредных биологических видов (санитарно-эпидемиологические службы, госинспекции по карантину растений и т.д.), возможности проникновения этих видов на большие географические области нашей страны и не принятию соответствующих защитных мер по обеспечению безопасности этих территорий.

Кроме того, климат Земли не остается неизменным. Примером того могут служить выполненные нами расчеты изменения годовых САТ за период 1991-2010 гг. по сравнению с периодом 1951-1970 гг. (Popova et al., 2018). Методами статистического анализа показаны наблюдаемые в 1991-2010 гг. достоверные изменения пространственных распределений данного агроклиматического показателя на территории России и сопредельных государств в сторону почти повсеместного их увеличения. Эта тенденция не изменится и в будущем, так как будет продолжаться и, очевидно, все возрастать антропогенный выброс парниковых газов в атмосферу Земли. Проведенные нами расчеты для САТ текущего периода 2011-2030 гг. и периода, близкого к середине 21 века, – 2034-2053 гг., выполненные по модельным сценариям будущего климата, используемым в ходе подготовки Пятого оценочного доклада МГЭИК, также показали дальнейшее достоверное увеличение этого показателя на территории России и сопредельных стран (Попова, Попов, 2019). Этот факт тоже надо учитывать при моделировании ареалов хозяйственно значимых организмов и прогнозе их распространения.

---

Публикация подготовлена в рамках выполнения:

1) Целевой научно-технической программы «Научно-исследовательские, опытно-конструкторские, технологические и другие работы для государственных нужд в области гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды» на 2017–2019 годы – обработка метеорологических данных.

2) Темы Фундаментальных научных исследований гос. задания гос. академий наук: «Изменения климата и их последствия для окружающей среды и жизнедеятельности населения на территории России» № 0148-2019-0009 – расчет прикладных климатических индексов САТ и СЭТ и их последующее картографирование.

3) Программы Президиума РАН № 51 "Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования" – оценка корректности использования индексов САТ и СЭТ в выявлении наблюдаемого и потенциально возможного распространения вредных интродуцированных биологических видов.

### Список литературы

Агроклиматический атлас мира. 1972. /Под ред. И. А. Гольцберг. – Л. Гидрометеиздат, 184 с.

Афонин А.Н., Грин С.Л., Дзюбенко Н.И., Фролов А.Н. (ред.). 2008. Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их вредители, болезни и сорные растения [DVD-версия]. <http://www.agroatlas.ru>.

Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К. 1989. Экология. Особи, популяции и сообщества. – М., Мир, т. 1, 667 с.

Магомедов У.Ш., Атанов Н.М. 2012. Средиземноморская плодовая муха *Seratitis capitata* (Wied.). Возможности акклиматизации. Карантин растений. – Наука и практика, № 2 (2), с. 40-53.

Попов И.О. 2016. Климатически обусловленные изменения аутэкологических ареалов иксодовых клещей *Ixodes ricinus* и *Ixodes persulcatus* на территории России и стран ближнего зарубежья. – Дис. ... канд. биол. наук, – М., ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА им. К. А. Тимирязева, 112 с.

Попова Е.Н. 2014. Влияние климатических изменений на расширение ареала и фенологию колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata*, Chrysomelidae, Coleoptera) на территории России. – Зоологический журнал, т. 93, № 4, с. 537-548. DOI: 10.7868/S0044513414020093

Попова Е.Н., Попов И.О. 2013. Климатические факторы, определяющие границы ареалов вредителей и возбудителей болезней сельскохозяйственных растений, и расчетные методы оценки изменения ареалов при изменении климата. – Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, т. XXV, с. 177-206.

Попова Е.Н., Ясюкевич В.В., Попов И.О. 2017. О корректном использовании кумулятивных прикладных климатических индексов при изучении биологических объектов. - Метеорология и гидрология, № 10, с. 77-82.

Попова Е.Н., Попов И.О. 2019. Сценарные изменения годовых сумм активных температур и количества осадков в России и соседних странах и их возможные последствия для сельского хозяйства. – Метеорология и гидрология, № 12, с. 88-96.

Руководство по медицинской энтомологии. 1974. /Под ред. В. П. Дербеновой-Уховой. – М., Медицина, 360 с.

Саулич А.Х. 1994. Значение абиотических факторов при формировании вторичных ареалов адвентивных видов насекомых. – Энтомологическое обозрение, т. 73, № 3, с. 591-605.

Саулич А.Х. 1999. Экспериментальный анализ сезонного развития насекомых и возможности их расселения. – СПб., Изд-во С.-Петербург. ун-та, 248 с.

Саулич А.Х., Волкович Т.А. 2004. Экология фотопериодизма насекомых. – СПб., Изд-во С.-Петербург. ун-та, 276 с.

Семенов С.М., Гельвер Е.С. 2002. Изменение годового хода среднесуточной температуры воздуха на территории России в XX веке. – Доклады РАН. Сер. Геофизическая, т. 386, № 3, с. 389-394.

Семенов С.М., Ясюкевич В.В., Гельвер Е.С. 2006. Выявление климатогенных изменений. –М., Издательский центр “Метеорология и гидрология”, 324 с.

Смирнова С.Е. 2006. Мировой ареал вируса крымской-конго геморрагической лихорадки. – Бюллетень сибирской медицины. Приложение 1, с.79-84.

Шамилов А.С. 2011. Американская белая бабочка и система защитных мероприятий в очагах ее массового размножения. – Автореф. дис. ... канд. биол. наук, – М., ФГУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» (ВНИИЛМ), 22 с.

Ясюкевич В.В. 2004. Прогноз распространения малярии на территории России в первой четверти XXI века. – Медицинская паразитология и паразитарные болезни, № 2, с. 31-33.

Ясюкевич В.В., Гельвер Е.С. 2003. Потенциальный ареал малярии на территории России, определяемый фактором температуры: современные изменения. – Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, т. XIX, с. 217-236.

Ясюкевич В.В., Давидович Е.А., Титкина С.Н., Ясюкевич Н.В. 2014а. Изменения климата во второй половине XX – начале XXI веков и связанные с ними изменения климатообусловленных ареалов непарного шелкопряда и шелкопряда-монашенки на территории России и сопредельных стран. – Прикладная энтомология, т. 5, № 1 (11), с. 38-46.

---

Ясюкевич В.В., Титкина С.Н., Попов И.О., Давидович Е.А., Ясюкевич Н.В. 2014б. Американская белая бабочка (*Huphantria cunea* Drury, Arctiidae, Lepidoptera): некоторые особенности биологии и прогноз распространения в условиях меняющегося климата XXI века. – Прикладная энтомология, т. 5, № 2 (12), с. 30-44.

Hunter J.D. 2007. Matplotlib: A 2D graphics environment. – Computing in Science and Engineering, vol. 9, No. 3, pp. 90-95.

Popova E.N., Semenov S.M. 2013. Current and expected changes in Colorado beetle climatic habitat in Russia and neighboring countries. – Russian Meteorology and Hydrology, vol. 38, No. 7, pp. 509-514. DOI: 10.3103/S1068373913070108.

Popova E.N., Semenov S.M., Popov I.O. 2016. Assessment of Possible Expansion of the Climatic Range of Italian Locust (*Calliptamus italicus* L.) in Russia in the 21st Century at Simulated Climate Changes. – Russian Meteorology and Hydrology, vol. 41, No. 3, pp. 213-217. DOI: 10.3103/S1068373916030079.

Popova E.N., Popov I.O., Semenov S.M. 2018. Assessment of variations in the annual sum of active temperatures and total precipitation during the vegetation period in Russia and neighboring countries. – Russian Meteorology and Hydrology, vol. 43, No. 6, pp. 412-417. DOI: 10.3103/S1068373918060092.

Статья поступила в редакцию: 01.07.2019

После переработки: 02.12.2019

---

# APPLICATION OF THE CARTOGRAPHIC METHOD FOR ESTIMATING DIFFERENCES IN THE APPLIED CLIMATE INDICES SAT AND SET

*E.N. Popova*<sup>1)\*</sup>, *V.V. Yasjukevich*<sup>2)\*</sup>, *I.O. Popov*<sup>2)\*</sup>

<sup>1)</sup> Institute of Geography of RAS,  
29, Staromonetny lane, 109017, Moscow, Russian Federation; \**en\_popova@mail.ru*

<sup>2)</sup> Yu. A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology,  
20B, Glebovskaya str., 107258, Moscow, Russian Federation, \**v1959@yandex.ru*,  
*igor\_o\_popov@mail.ru*.

**Abstract.** For the territory of Russia and neighboring countries, the maps with isolines limiting geographical areas where the climate indices the sum of active temperatures (SAT) and the sum of effective temperatures (SET) exceed or do not reach the indicated values from 500°C to 3500°C in increments of 500° C at a low threshold of 10°C were constructed for the period 1981-2010. Using these maps, the differences in the areas of the territories bounded by the same isolines of SAT and SET were found. The importance of the correct use of the SAT and SET indices for determining the boundaries of the ranges of various poikilothermic organisms, including many dangerous introduced and invasive species, have been shown, the need for a clear understanding of their differences to build predictive models have been substantiated.

**Keyword.** Sum of active temperatures, sum of effective temperatures, isolines, geographical areas.

## References

*Agroklimaticheskij atlas mira* [Agroclimatic atlas of the world]. 1972. Pod red. I. A. Gol'cberg – Ed. I. A. Goltsberg. Leningrad, Gidrometeoizdat. 184 p.

Afonin A.N.; Grin S.L.; Dzyubenko N.I.; Frolov A.N. (ed.). 2008. *Agroekologicheskij atlas Rossii i sopredel'nyh stran: ekonomicheski znachimye rasteniya, ih vrediteli, bolezni i sornye rasteniya [DVD-versiya]* [Agro-ecological atlas of Russia and neighboring countries: economically significant plants, their pests, diseases and weeds [DVD-version]]. <http://www.agroatlas.ru> (accessed 20 February 2019).

Bigon M., Harper Dzh., Taunsend K. 1989. *Ekologiya. Osobi, populyacii i soobshchestva* [Ecology. Individuals, populations and communities]. Moscow, Mir. vol. 1, 667 p.

Magomedov U.SH., Atanov N.M. 2012. Sredizemnomorskaya plodovaya muha *Ceratitis capitata* (Wied.). Vozmozhnosti akklimatizacii. Karantin rastenij [Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Wied.). Acclimatization possibilities. Quarantine plants]. *Nauka i praktika – Science and practice*, no 2 (2), pp. 40-53.

---



---

Popov I.O. 2016. Klimaticheski obuslovlennye izmeneniya autekologicheskikh arealov iksodovykh kleshchej *Ixodes ricinus* i *Ixodes persulcatus* na territorii Rossii i stran blizhnego zarubezh'ya [Climate-related changes in autoecological areas of ixodid ticks *Ixodes ricinus* and *Ixodes persulcatus* in Russia and neighboring countries]. *Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata biologicheskikh nauk – Thesis for the degree of candidate of biological sciences*. Moscow FGBOU VO RGAU – Moscow Agricultural Academy K. A. Timiryazev, 112 p.

Popova E.N. 2014. Vliyanie klimaticheskikh izmenenij na rasshirenie areala i fenologiyu koloradskogo zhuka (*Leptinotarsa decemlineata*, Chrysomelidae, Coleoptera) na territorii Rossii [The influence of climatic changes on range expansion and phenology of the Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata*, Coleoptera, Chrysomelidae) in the territory of Russia]. *Zoologicheskij zhurnal – Zoological journal*, vol. 93, no. 4, pp. 537-548.

Popova E.N., Popov I.O. 2013. Klimaticheskie faktory, opredelyayushchie granicy arealov vreditel'ej i vobuditelej boleznej sel'skohozyajstvennykh rastenij, i raschetnye metody ocenki izmeneniya arealov pri izmenenii klimata [Climatic factors determining ranges of agricultural pests and agents of plant diseases and model methodology for assessment of change in ranges]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem – Problems of Environmental Monitoring and Ecosystem Modeling*, vol. XXV, Moscow, IGCE, pp. 177-206.

Popova E.N., Yasyukevich V.V., Popov I.O. 2017. O korrektnom ispol'zovanii kumulyativnykh prikladnykh klimaticheskikh indeksov pri izuchenii biologicheskikh ob"ektov [On the correct use of cumulative applied climate indices for studying biological objects]. *Meteorologiya i Gidrologiya – Meteorology and hydrology*, no. 10, pp. 77-82.

Popova E.N., Popov I.O. 2019. Scenarnye izmeneniya godovykh summ aktivnykh temperatur i kolichestva osadkov v Rossii i sosednih stranah i ih vozmozhnye posledstviya dlya sel'skogo hozyajstva [Scenario-based changes in the annual sum of active temperatures and annual total precipitation in Russia and neighboring countries and their possible consequences for agriculture]. *Meteorologiya i Gidrologiya – Meteorology and hydrology*, no. 12, pp. 88-96.

*Rukovodstvo po medicinskoj entomologii*. 1974. [Guide to medical entomology] / Pod red. V. P. Derbenevoj-Uhovej – Ed. V.P. Derbeneva-Ukhova. Moscow, Medicina, 360 p.

Saulich A.H. 1994. Znachenie abioticheskikh faktorov pri formirovanii vtorignykh arealov adventivnykh vidov nasekomyh [The value of abiotic factors in the formation of secondary ranges of adventitious insect species]. *Entomologicheskoe obozrenie – Entomological review*, vol. 73, no. 3, pp. 591-605.

Saulich A.H. 1999. *Eksperimental'nyj analiz sezonnogo razvitiya nasekomyh i vozmozhnosti ih rasseleniya* [Experimental analysis of the seasonal development of insects and the possibility of their settlement]. Sanct-Petersburg, 248 p.

---

Saulich A.H., Volkovich T.A. 2004. *Ekologiya fotoperiodizma nasekomyh* [Ecology of insect photoperiodism]. Sanct-Petersburg, 276 p.

Semenov S.M., Gel'ver E.S. 2002. *Izmenenie godovogo hoda srednesutochnoj temperatury vozduha na territorii Rossii v XX veke* [Changes in the annual course of average daily air temperature in Russia in the twentieth century]. *Doklady RAN. Ser. Geofizicheskaya – Reports of RAS. Ser. Geophysical*, vol. 386, no. 3, pp. 389-394.

Semenov S.M., Yasyukevich V.V., Gel'ver E.S. 2006. *Vyyavlenie klimatogennyh izmenenij* [Detection of climatogenic changes]. Moscow, Izdatel'skij centr "Meteorologiya i gidrologiya" 324 p.

Smirnova S.E. 2006. *Mirovoj areal virusa krymskoj-kongo gemorragicheskoj lihoradki – [The global range of the Crimean-Congo hemorrhagic fever virus]. Bolleten' sibirskoj mediciny. Prilozhenie 1 – The Bulletin of Siberian medicine. Appendix 1*, pp.79-84.

Shamilov A.S. 2011. *Amerikanskaya belaya babochka i sistema zashchitnyh meropriyatij v ochagah ee massovogo razmnozheniya* [American White Butterfly and the system of protective measures in the foci of its mass reproduction]. *Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata biologicheskikh nauk – Abstract of dissertation for the degree of candidate of biological sciences*, Moscow, FGU «Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut lesovodstva i mekhanizacii lesnogo hozyajstva» (VNIILM) – Federal State Institution "All-Russian Research Institute of Forestry and Forestry Mechanization" (VNIILM). 22 p.

Yasyukevich V.V. 2004. *Prognoz rasprostraneniya malyarii na territorii Rossii v pervoj chetverti XXI veka* [Forecast of the spread of malaria in Russia in the first quarter of the XXI century]. *Medicinskaya parazitologiya i parazitarnye bolezni – Medical parasitology and parasitic diseases*, no. 2, pp. 31-33.

Yasyukevich V.V., Gel'ver E.S. 2003. *Potencial'nyj areal malyarii na territorii Rossii, opredelyaemyj faktorom temperatury: sovremennye izmeneniya* [Potential area of malaria in Russia, determined by temperature factor: current changes]. *V kn.: Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem – In: Problems of environmental monitoring and modeling of ecosystems*, vol. XIX, Sanct-Petersburg, Gidrometeoizdat., pp. 217-236.

Yasyukevich V.V., Davidovich E.A., Titkina S.N., Yasyukevich N.V. 2014a. *Izmeneniya klimata vo vtoroj polovine XX – nachale XXI vekov i svyazannye s nimi izmeneniya klimatoobuslovlennyh arealov neparnogo shelkopyrada i shelkopyrada-monashenki na territorii Rossii i sopredel'nyh stran* [Climate changes in the second half of the 20th – early 21st centuries and related changes in the climate-conditioned areas of the gypsy moth and the nun moth in Russia and neighboring countries]. *Prikladnaya entomologiya – Applied Entomology*, vol. 5, No. 1 (11), pp. 38-46.

Yasyukevich V.V., Titkina S.N., Popov I.O., Davidovich E.A., Yasyukevich N.V. 2014b. *Amerikanskaya belaya babochka (Hyphantria cunea Drury, Arctiidae,*

---

---

Lepidoptera): nekotorye osobennosti biologii i prognoz rasprostraneniya v usloviyah menyayushchegosya klimata XXI veka [American white butterfly (*Hyphantria cunea* Drury, Arctiidae, Lepidoptera): some features of biology and the forecast of distribution in a changing climate of the XXI century]. *Prikladnaya entomologiya – Applied Entomology*. 2014, vol. 5, No 2 (12), pp. 30-44.

Hunter J.D. 2007. Matplotlib: A 2D graphics environment. – *Computing in Science and Engineering*, vol. 9, No. 3, pp. 90-95.

Popova E.N., Semenov S.M. 2013. Current and expected changes in Colorado beetle climatic habitat in Russia and neighboring countries. – *Russian Meteorology and Hydrology*, vol. 38, No. 7, pp. 509-514. DOI: 10.3103/S1068373913070108

Popova E.N., Semenov S.M., Popov I.O. 2016. Assessment of Possible Expansion of the Climatic Range of Italian Locust (*Calliptamus italicus* L.) in Russia in the 21st Century at Simulated Climate Changes. – *Russian Meteorology and Hydrology*, vol. 41, No. 3, pp. 213-217. DOI: 10.3103/S1068373916030079

Popova E.N., Popov I.O., Semenov S.M. 2018. Assessment of variations in the annual sum of active temperatures and total precipitation during the vegetation period in Russia and neighboring countries. – *Russian Meteorology and Hydrology*, vol. 43, No. 6, pp. 412-417. DOI: 10.3103/S1068373918060092