

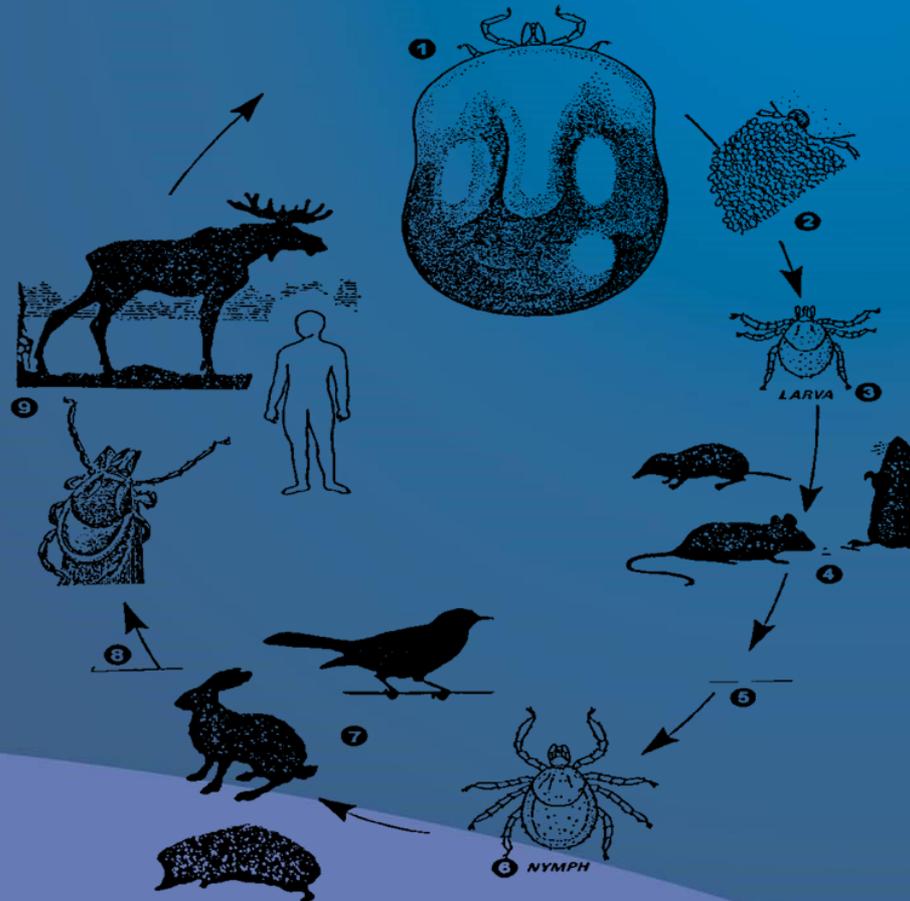


Климат как комплекс абиотических факторов,  
влияющих на выживание и сохранение популяций  
клещей *Ixodes ricinus* L. и *I. persulcatus* Sch. (на  
примере Санкт-Петербурга и Ленинградской области)

Самойлова Е.П.<sup>1</sup>, Осипова Т.Н.<sup>2</sup>, Григорьева  
Л.А.<sup>1</sup>

1. Зоологический институт РАН, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 1
2. Санкт-Петербургский государственный университет, Институт Наук о Земле, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9

# Рисунок 1. Схема жизненного цикла клеща *Ixodes persulcatus*



9.10



Рисунок 2. Изменение количества активных клещей от года к году по сбором на территории Санкт-Петербурга (1980-2013 гг.) и на стационаре в Лисьем Носу (1992-2013 гг.)





## Цель:

выявление влияния климатических факторов и их изменчивости на количество активных клещей.

## Задачи:

1. проведение полевых исследований для определения микроклиматических характеристик клещевых биотопов;
2. улучшение частной мезоклиматической модели прогнозирования количества активных клещей *Ixodes ricinus* и *Ixodes persulcatus*;
3. моделирование пространственного распределения экологических условий местообитаний клещей *Ixodes ricinus* и *Ixodes persulcatus*;
4. расчет климатических рисков заболевания клещевыми инфекциями;
5. определение мер адаптации к климатическим рискам заболевания клещевыми инфекциями.



В ходе работы используются данные

- ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербург»,
- Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД),
- данные полевых исследований за май-сентябрь 2016, 2017 гг.

Поставленные в работе задачи решаются с помощью:



- аналитических методов;
- статистических методов;
- полевых наблюдений;
- методов нечеткой логики.

Все расчеты производятся в пакете STATISTICA.

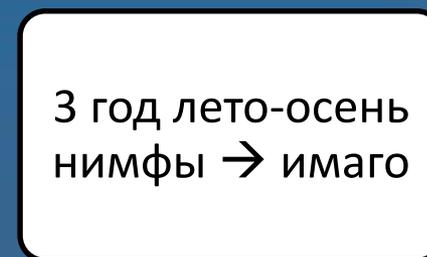
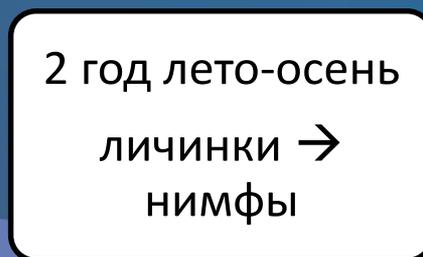
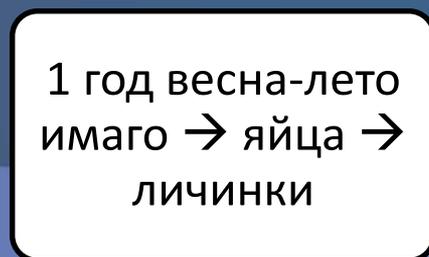


Лабораторные условия: продолжительность полного цикла

1 год

Естественная среда обитания: продолжительность полного цикла

3 года



# Полевые исследования



## Клещевые изыскания:

- Половозрелых клещей *I. persulcatus* и *I. ricinus* собирают на флаг с растительности
- Неполовозрелые фазы клещей, а также единичные экземпляры половозрелой фазы собирают с мелких млекопитающих, отловленных ловушками-Геро



## Метеорологические изыскания:

- температура подстилки;
- относительная влажность подстилки;
- температурно-влажностные характеристики воздуха на высоте 0,5 м.

## Приборы:

- регистратор температуры и влажности ТРВ-2;
- аспирационный психрометр М-34;
- электронного прибора GEOS №11.



# Рисунок 3. Места сборов активных клещей *Ixodes persulcatus*

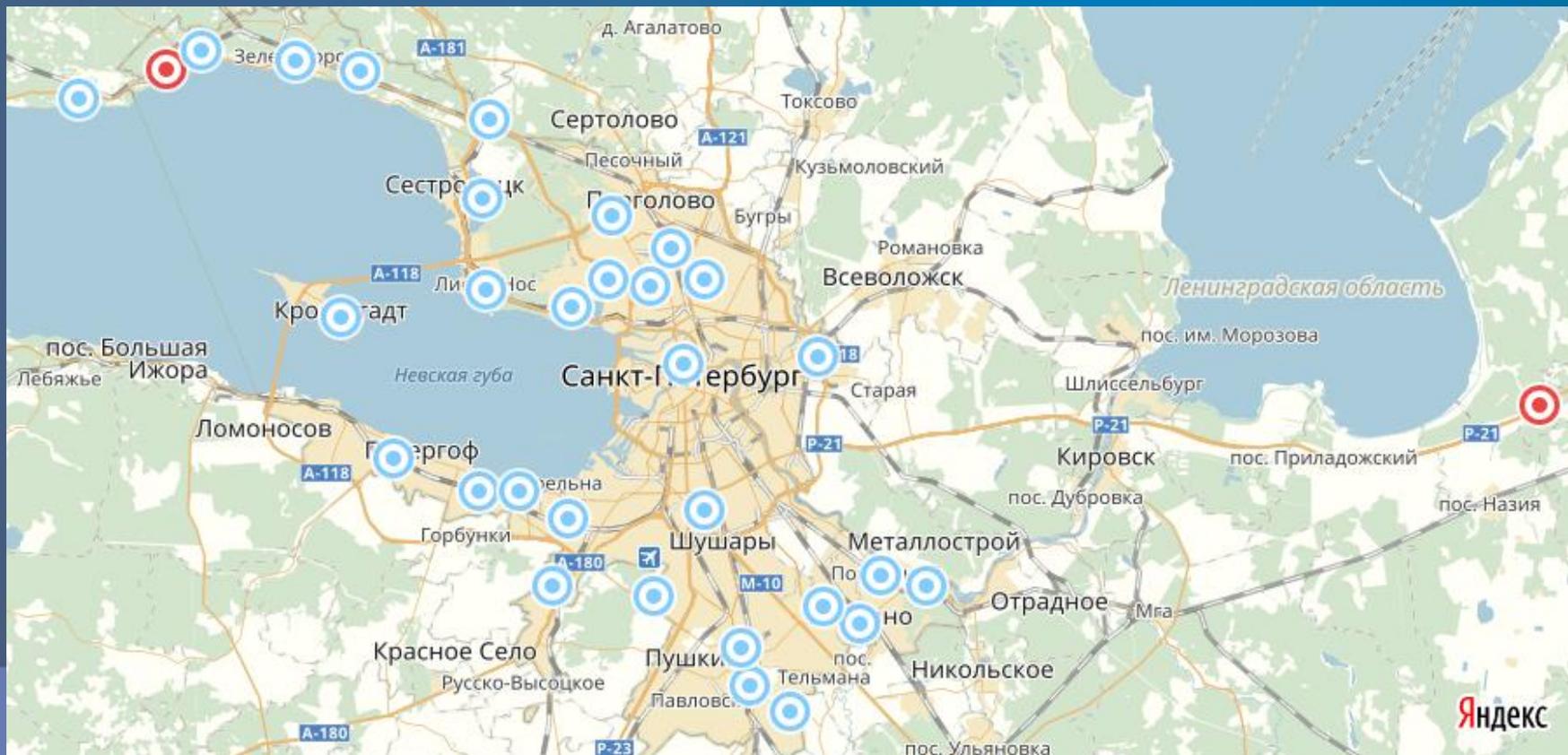
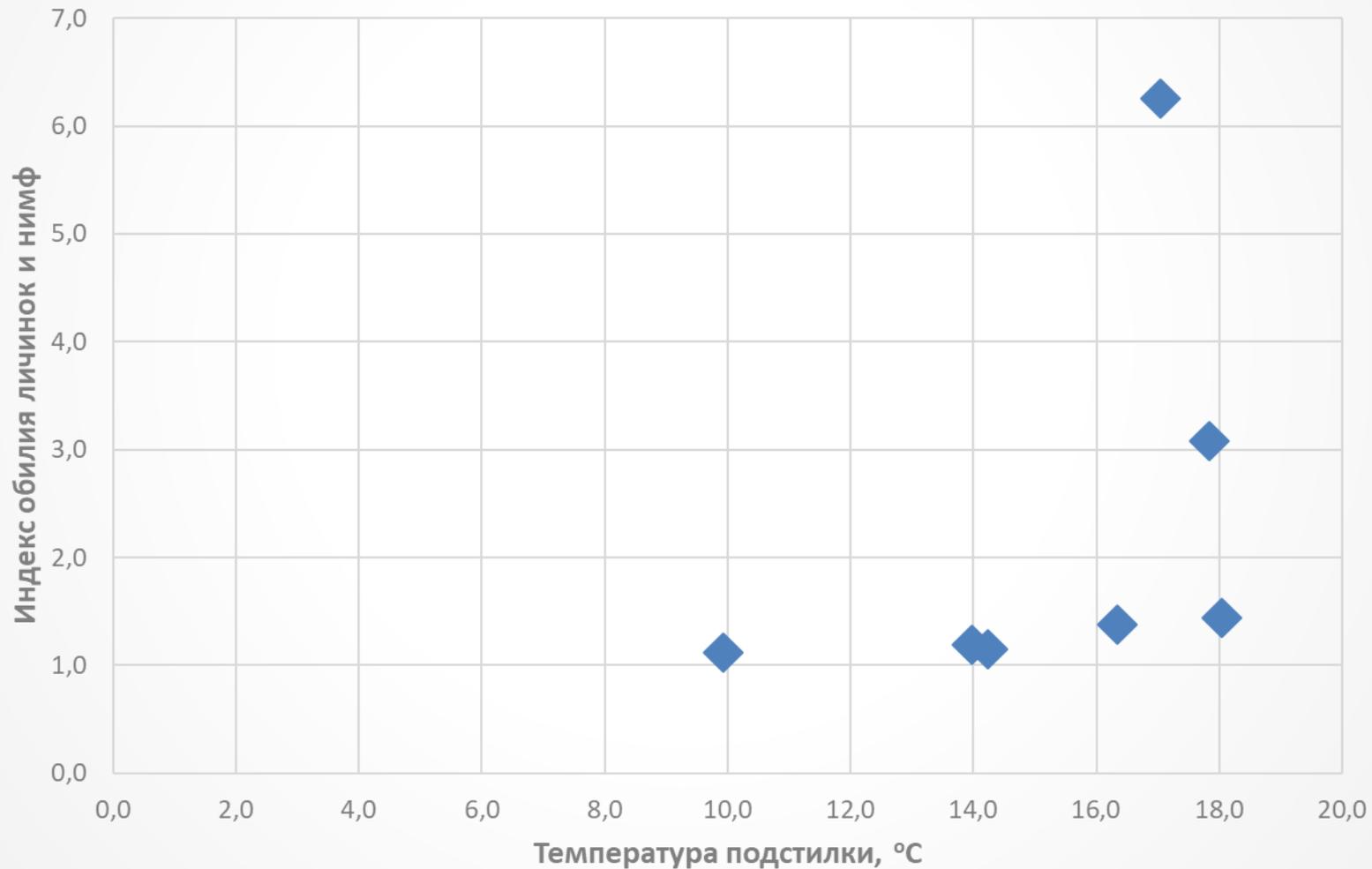
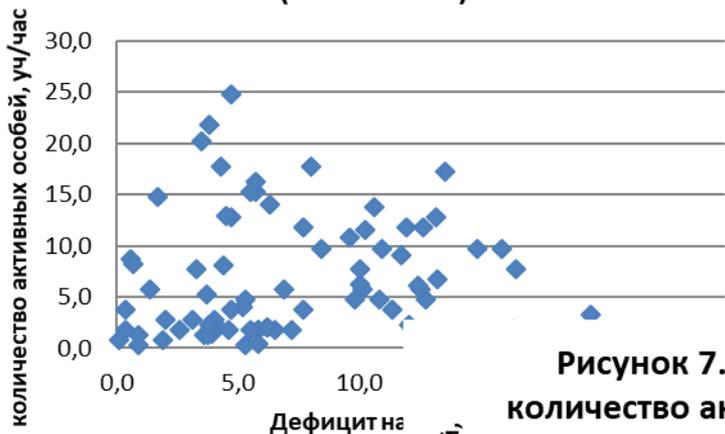




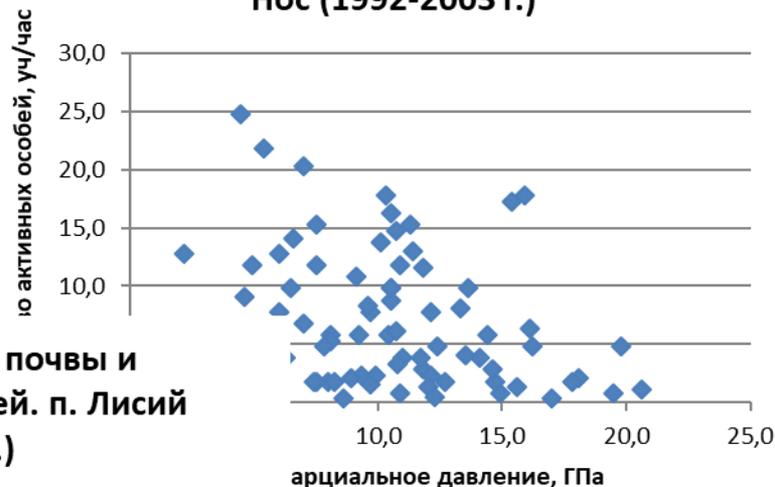
Рисунок 4. Индекс обилия личинок и нимф и температура подстилки. Р. Лава, июнь-сентябрь 2016 года



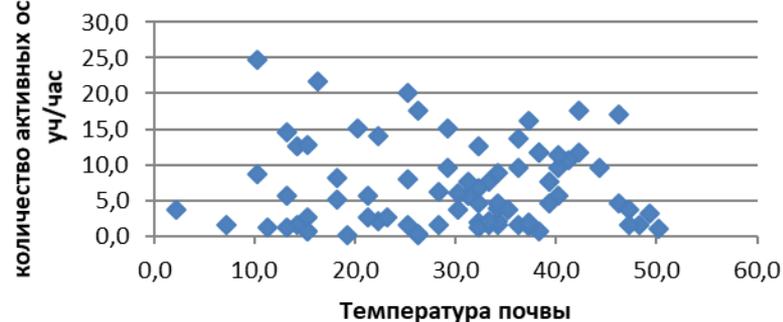
**Рисунок 5. Дефицит насыщения и количество активных особей. п. Лисий Нос (1992-2003 г.)**



**Рисунок 6. Парциальное давление и количество активных особей. п. Лисий Нос (1992-2003 г.)**



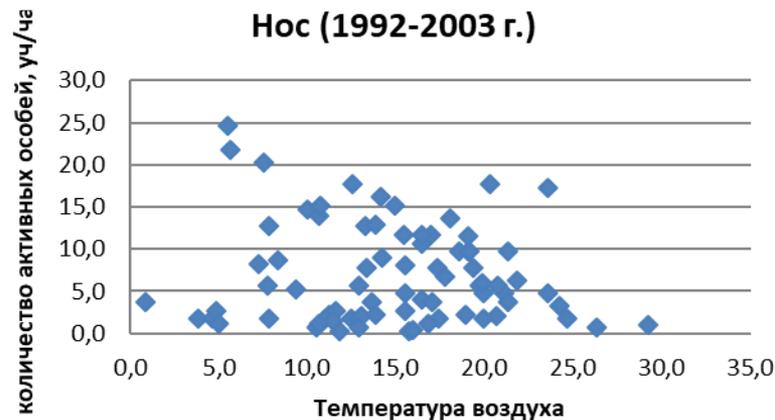
**Рисунок 7. Температура почвы и количество активных особей. п. Лисий Нос (1992-2003 г.)**



**Рисунок 8. Относительная влажность и количество активных особей. п. Лисий Нос (1992-2003 г.)**



**Температура воздуха и количество активных особей. п. Лисий Нос (1992-2003 г.)**



# Климатические показатели



## Лимитирующие факторы

- число дней с температурами воздуха ниже  $0,0^{\circ}\text{C}$ ,  $-2,0^{\circ}\text{C}$ ,  $-10,0^{\circ}\text{C}$
- сумма температур воздуха ниже  $0,0^{\circ}\text{C}$ ,  $-2,0^{\circ}\text{C}$ ,  $-10,0^{\circ}\text{C}$
- число дней с температурами воздуха ниже  $-2,0^{\circ}\text{C}$ ,  $-10,0^{\circ}\text{C}$  без снежного покрова
- сумма температур воздуха ниже  $-2,0^{\circ}\text{C}$ ,  $-10,0^{\circ}\text{C}$  без снежного покрова
- число дней с температурами воздуха ниже  $-2,0^{\circ}\text{C}$  без снежного покрова весной
- сумма температур воздуха ниже  $-2,0^{\circ}\text{C}$  без снежного покрова весной
- показатель засухи
- максимум пятидневных сумм осадков
- даты устойчивого перехода температур воздуха через  $0,0^{\circ}\text{C}$  и  $+5,0^{\circ}\text{C}$  весной
- число дней от даты устойчивого перехода температуры воздуха через  $+5,0^{\circ}\text{C}$  весной до первого заморозка
- число дней от даты устойчивого перехода температуры воздуха через  $+5,0^{\circ}\text{C}$  весной до 1 июля

## Факторы, влияющие на сезонную активность клещей в весенне-летний период

- число дней с температурами воздуха выше  $+5,0^{\circ}\text{C}$  за сезон
- сумма температур воздуха выше  $+5,0^{\circ}\text{C}$  за сезон
- число дней с температурами воздуха выше  $+10,0^{\circ}\text{C}$  за сезон
- сумма температур воздуха выше  $+10,0^{\circ}\text{C}$  за сезон
- число дней с осадками больше 10 мм за сезон
- сумма осадков больше 10 мм за сезон
- число дней с осадками больше 5 мм за сезон
- сумма осадков больше 5 мм за сезон

## Факторы, являющиеся как лимитирующими, так и влияющими на сезонную активность клещей

- число дней с температурами воздуха выше  $+5,0^{\circ}\text{C}$  за год
- сумма температур воздуха выше  $+5,0^{\circ}\text{C}$  за год
- число дней с температурами воздуха выше  $+10,0^{\circ}\text{C}$  за год
- сумма температур воздуха выше  $+10,0^{\circ}\text{C}$  за год
- число дней с осадками больше 10 мм в год
- сумма осадков больше 10 мм в год
- число дней с осадками больше 5 мм в год
- сумма осадков больше 5 мм в год
- гидротермический коэффициент Селянинова

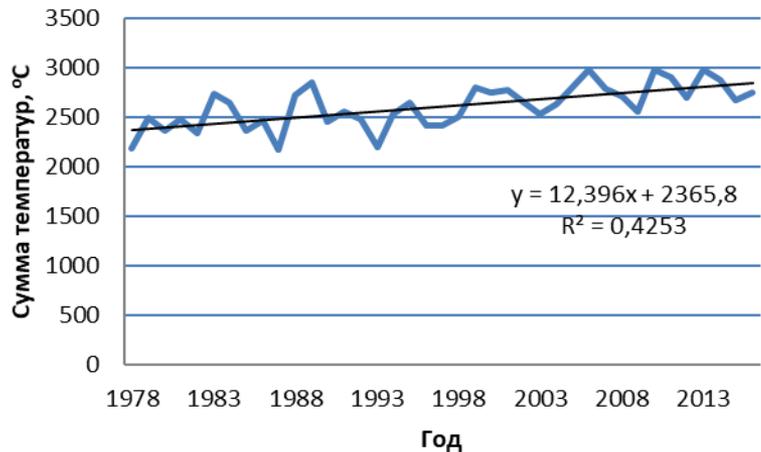
Таблица 1. Коэффициенты корреляции между метеорологическими факторами и количеством активных клещей, ср./уч.час (сборы по Санкт-Петербургу), а также метеорологическими факторами и количеством активных клещей, ср./уч.час (сборы на территории стационара в Лисьем Носу)



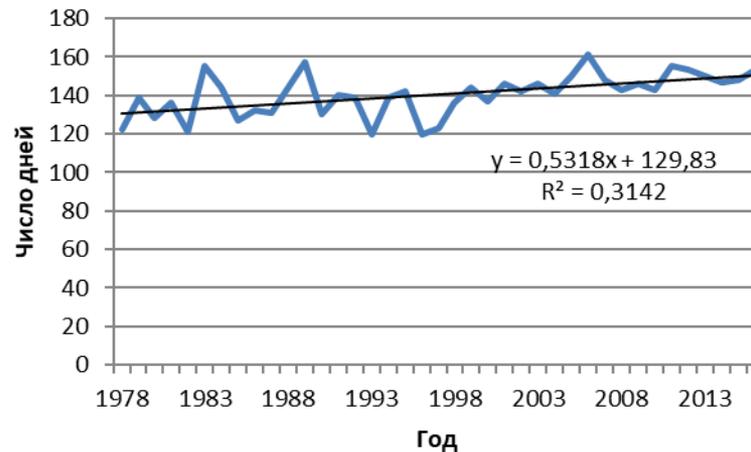
	без сдвига		сдвиг на 1 год		сдвиг на 2 года	
	количество активных клещей, ср./уч.час (сборы по Санкт-Петербургу)	количество активных клещей, ср./уч.час (стационар)	количество активных клещей, ср./уч.час (сборы по Санкт-Петербургу)	количество активных клещей, ср./уч.час (стационар)	количество активных клещей, ср./уч.час (сборы по Санкт-Петербургу)	количество активных клещей, ср./уч.час (стационар)
число дней с температурой воздуха выше +5°C за год	-0,18	-0,24	-0,34	<b>-0,44</b>	-0,30	-0,23
сумма температур воздуха выше +5°C за год	<b>-0,37</b>	-0,11	-0,30	-0,33	<b>-0,37</b>	<b>-0,68</b>
число дней с температурой воздуха выше +10°C за год	<b>-0,43</b>	0,05	-0,34	-0,26	-0,29	<b>-0,63</b>
сумма температур выше +10°C за год	<b>-0,44</b>	0,01	-0,26	-0,19	-0,32	<b>-0,72</b>
сумма температур выше +10°C за сезон	-0,21	0,11	-0,01	-0,35	-0,11	<b>-0,45</b>
число дней с осадками больше 5 мм за сезон	-0,07	0,13	<b>-0,56</b>	-0,05	-0,07	-0,12
число дней с осадками больше 10 мм в год	-0,03	-0,12	<b>-0,43</b>	0,07	<b>-0,36</b>	-0,03
число дней с осадками больше 10 мм за сезон	-0,06	0,32	<b>-0,55</b>	0,00	-0,24	-0,32
число дней с температурами воздуха ниже -2,0°C без снега	0,03	-0,25	0,14	<b>0,44</b>	0,26	0,04
число дней с температурами ниже 0,0°C	0,19	0,18	0,14	<b>0,50</b>	0,17	-0,09



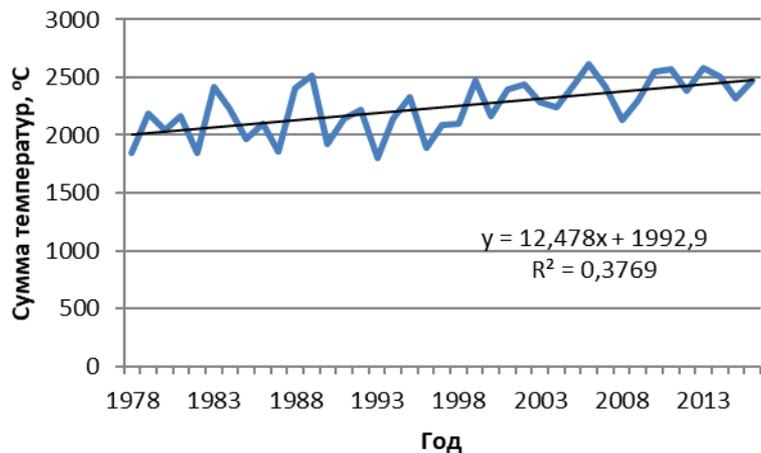
**Рисунок 10. Ход сумм температур воздуха выше +5,0°C за год**



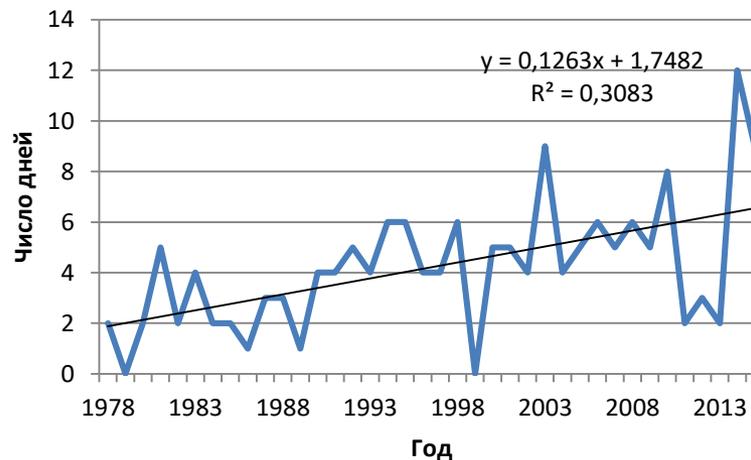
**Рисунок 11. Ход числа дней с температурами воздуха выше +10 °С за год**



**Рисунок 12. Ход сумм температур воздуха выше +10°C за год**

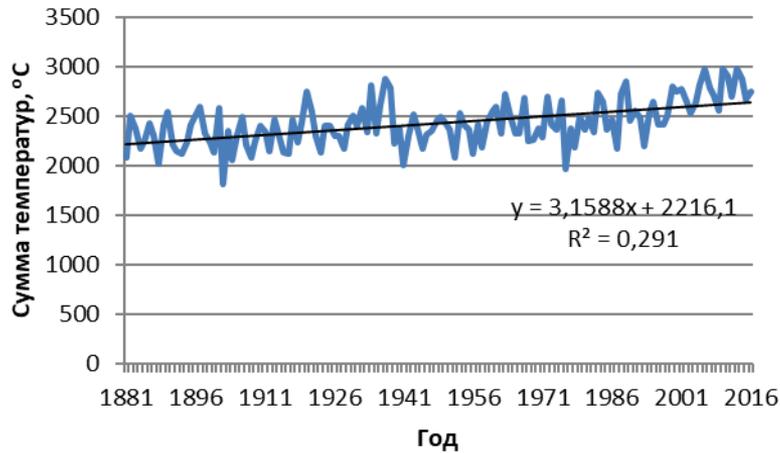


**Рисунок 13. Ход числа дней с жидкими осадками больше 10 мм за сезон**

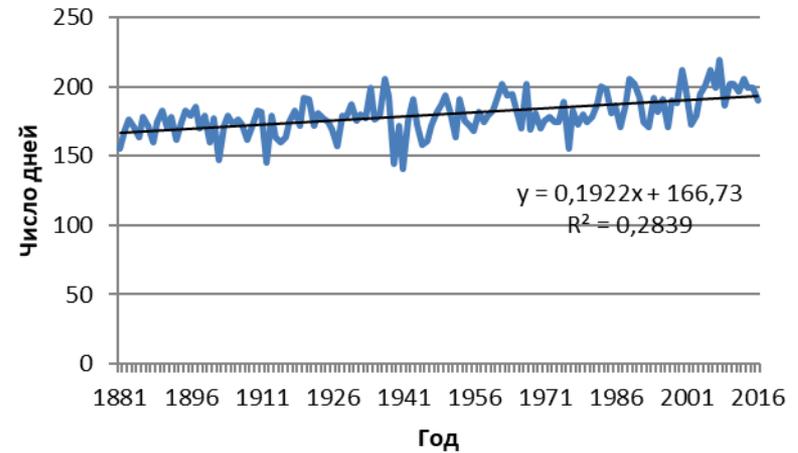




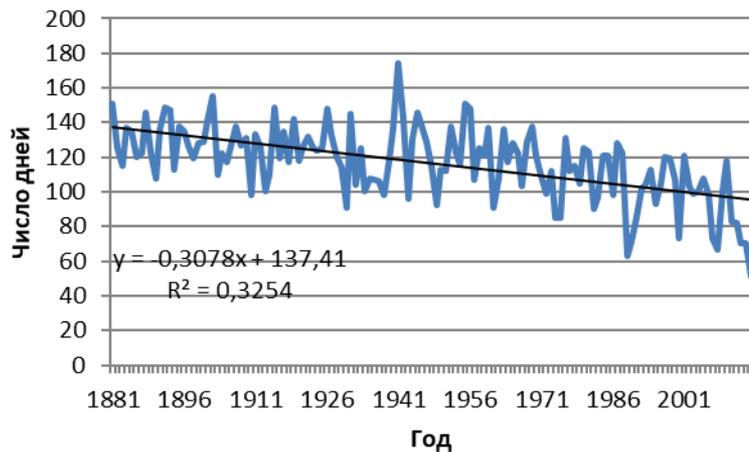
**Рисунок 14. Ход сумм температур воздуха выше +5°C за год**



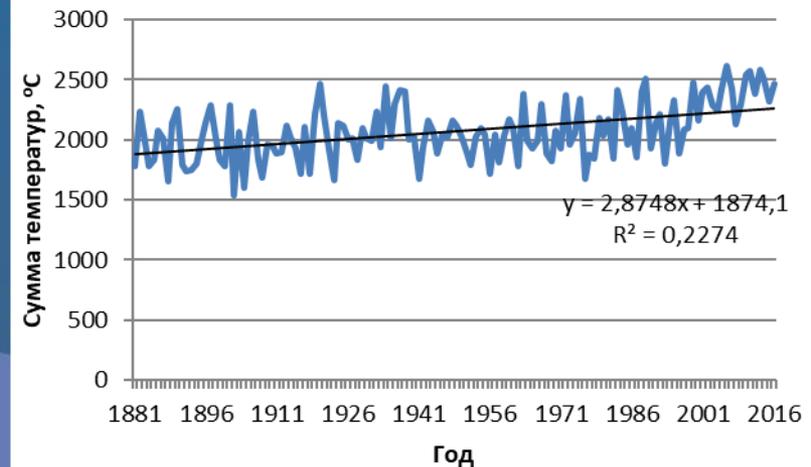
**Рисунок 15. Ход числа дней с температурой воздуха выше +5°C за год**



**Рисунок 16. Ход числа дней с температурами воздуха ниже 0,0°C**



**Рисунок 17. Ход сумм температур воздуха выше +10°C за год**





# Модель Пуассона для расчета вероятностей опасных явлений

$$P_t(k) = \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!}$$

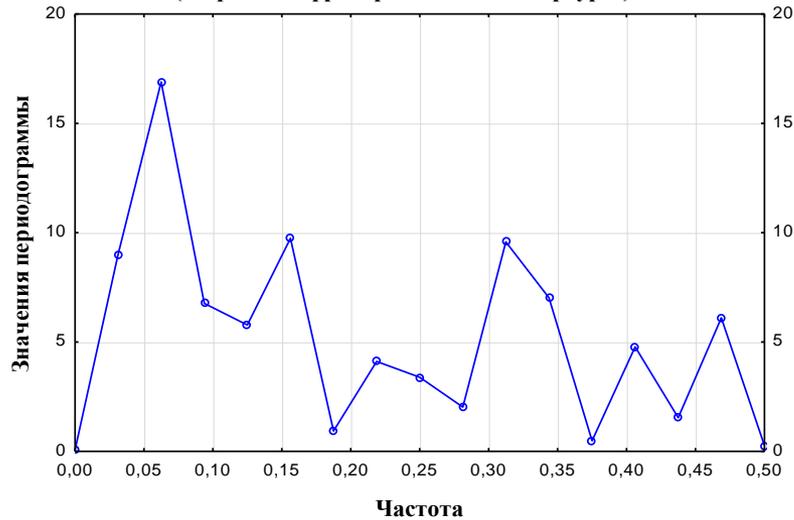
$\lambda$  – математическое ожидание

$k$  – число событий, произошедшее за время  $t$

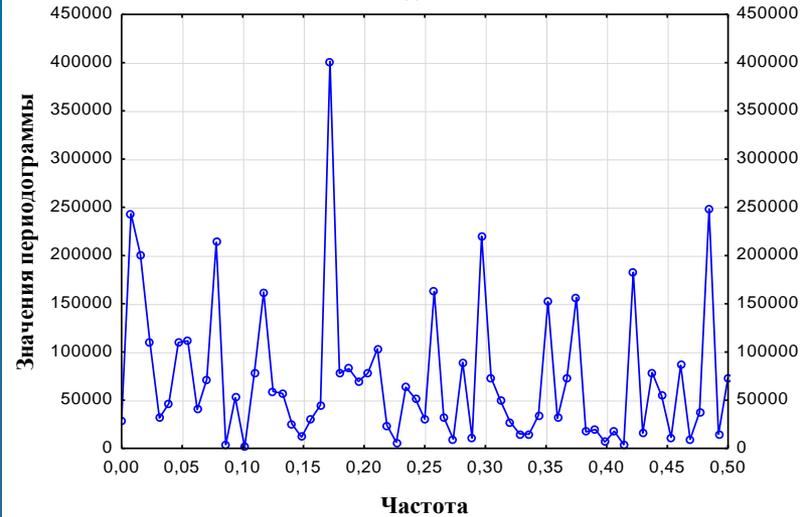
	Показатель засухи	Число дней от даты устойчивого перехода температуры воздуха через 5,0°C весной до первого заморозка	Число дней с температурами воздуха ниже -10,0°C без снега
Временной отрезок ( $t$ )	136	51	83
Математическое ожидание ( $\lambda$ )	1,3	1,4	0,1
Частота события ( $k$ )	7	1	3
Вероятность редкого явления ( $P_t(k)$ )	0	0	0,004



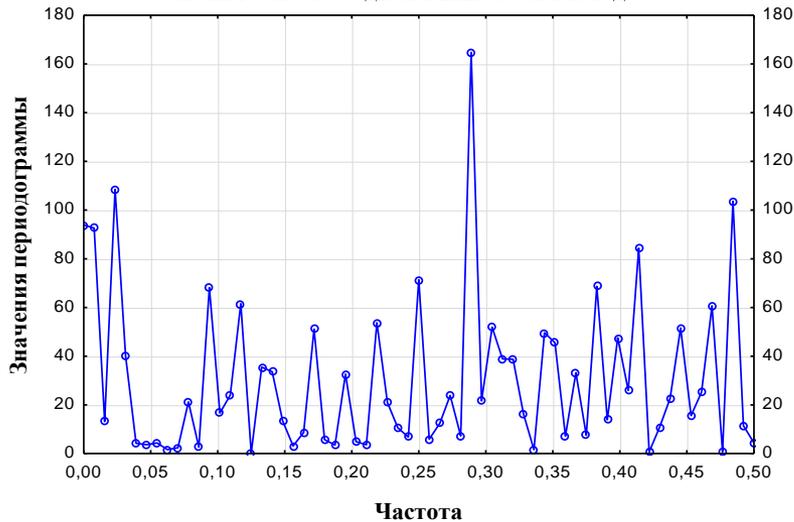
**Рисунок 18. Спектральный анализ: количество активных клещей (сборы на территории Санкт-Петербурга)**



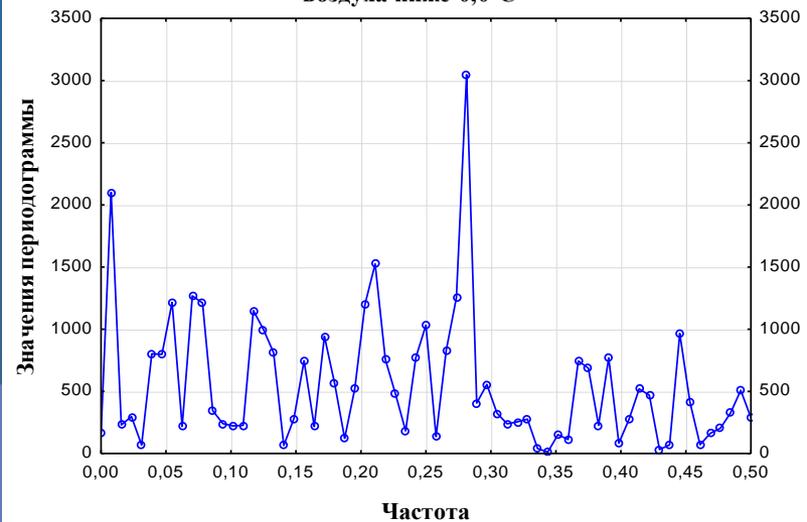
**Рисунок 19. Спектральный анализ: сумма температур выше +5°C за год**



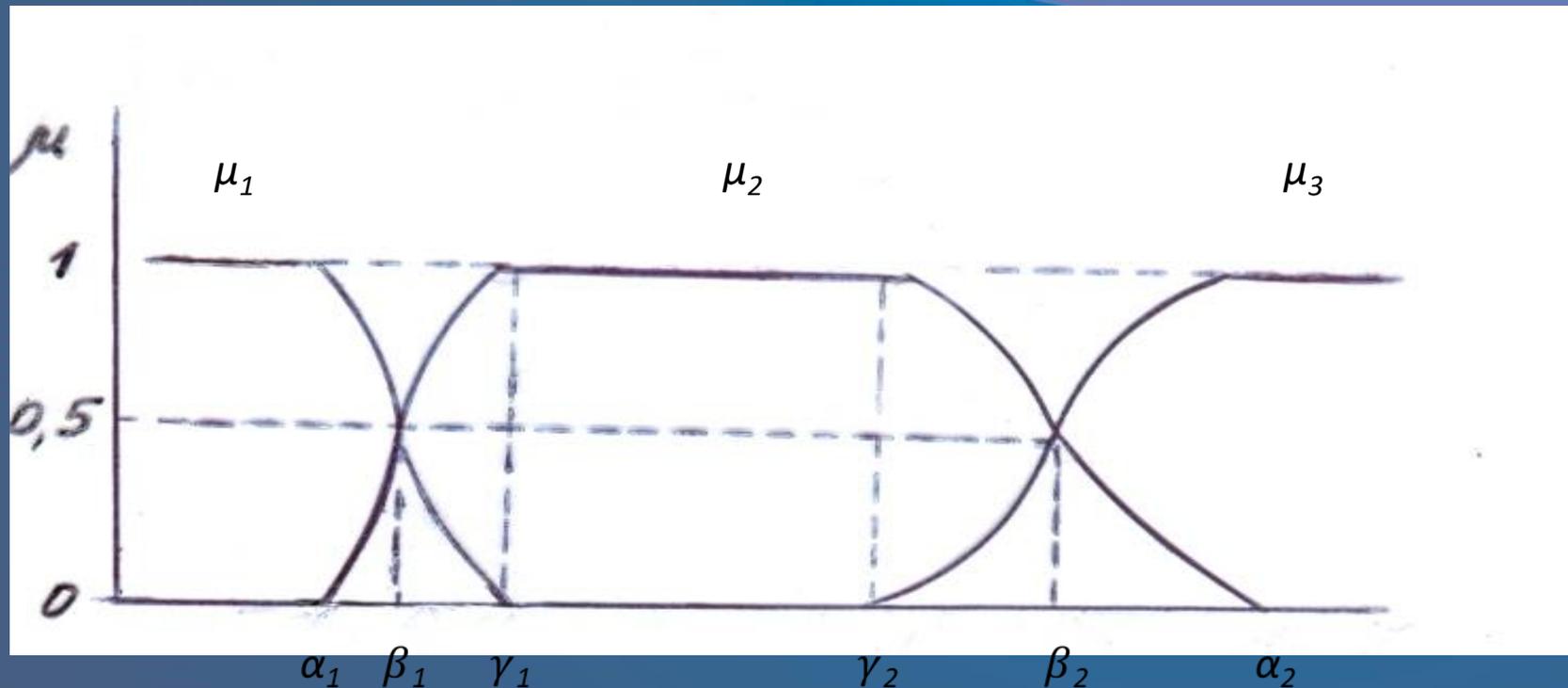
**Рисунок 20. Спектральный анализ: число дней со среднесуточным количеством осадков выше 10 мм в год**



**Рисунок 21. Спектральный анализ: число дней с температурами воздуха ниже 0,0°C**



# Рисунок 22. График функции принадлежности



$\alpha_1$  — минимум

$$\beta_1 = \frac{(\alpha_1 + \gamma_1)}{2}$$

$\gamma_1$  — мода

$\alpha_2$  — максимум

$$\beta_2 = \frac{(\alpha_2 + \gamma_2)}{2}$$

$\gamma_2$  — 80% — ая квантиль



$$\mu_1 = \begin{cases} 1 & \text{для } x \leq \alpha_1 \\ 1 - \frac{2(x - \alpha_1)^2}{(\gamma_1 - \alpha_1)^2} & \text{для } \alpha_1 \leq x \leq \beta_1 \\ \frac{2(x - \gamma_1)^2}{(\gamma_1 - \alpha_1)^2} & \text{для } \beta_1 < x \leq \gamma_1 \\ 0 & \text{для } x > \gamma_1 \end{cases}$$

$$\mu_2 = \begin{cases} 0 & \text{для } x \leq \alpha_1 \\ \frac{2(x - \alpha_1)^2}{(\gamma_1 - \alpha_1)^2} & \text{для } \alpha_1 < x \leq \beta_1 \\ 1 - \frac{2(x - \gamma_1)^2}{(\gamma_1 - \alpha_1)^2} & \text{для } \beta_1 < x \leq \gamma_1 \\ 1 & \text{для } \gamma_1 < x < \gamma_2 \\ 1 - \frac{2(x - \gamma_2)^2}{(\alpha_2 - \gamma_2)^2} & \text{для } \gamma_2 < x \leq \beta_2 \\ \frac{2(x - \alpha_2)^2}{(\alpha_2 - \gamma_2)^2} & \text{для } \beta_2 < x \leq \alpha_2 \\ 0 & \text{для } x > \alpha_2 \end{cases}$$

$$\mu_3 = \begin{cases} 0 & \text{для } x \leq \gamma_2 \\ \frac{2(x - \gamma_2)^2}{(\alpha_2 - \gamma_2)^2} & \text{для } \gamma_2 < x \leq \beta_2 \\ 1 - \frac{2(x - \alpha_2)^2}{(\alpha_2 - \gamma_2)^2} & \text{для } \beta_2 < x \leq \alpha_2 \\ 1 & \text{для } x > \alpha_2 \end{cases}$$

Получение количественного значения для каждой из лингвистических переменных проводилось по методу центра тяжести:



$$Y_i = \frac{\sum_{i=1}^k x \mu_i(x)}{\sum_{i=1}^k \mu_i(x)}$$

$Y_i$  – результат дефаззификации

$\mu_i(x)$  — функция принадлежности соответствующего нечеткого множества

	ниже нормы	норма	выше нормы
Количество активных клещей	2,0	3,9	8,8
Суммы температур воздуха выше +5,0°C за год	2189,6	2554,3	2900,6
Число дней со среднесуточным количеством осадков выше 10 мм за год	6,8	14,5	21,8



Дискриминантный анализ для  
сборов по Санкт-Петербургу

Изначальная классификация  
методом нечетких логик

Корректировка изначальной  
классификации: увеличено  
количество значений для  
уровня «выше среднего»

Корректировка изначальной  
классификации на суммы  
температур воздуха выше  
 $+5^{\circ}\text{C}$  в год

Корректировка изначальной  
классификации на суммы  
температур воздуха выше  
 $+5^{\circ}\text{C}$  в год и число дней со  
среднесуточным количеством  
осадков выше 10 мм в год



Таблица 4. Классификация функций для сборов по Санкт-Петербургу

	выше нормы	норма	ниже нормы
сумма температур воздуха выше +5,0°С в год	0,077	0,078	0,086
число дней со среднесуточным количеством осадков выше 10 мм в год	1,750	1,691	2,068
постоянная	-107,599	-108,458	-133,589

высокий =  $-107,599 + 0,077 \cdot \text{сумма температур воздуха выше } +5^{\circ}\text{C в год} + 1,750 \cdot \text{число дней со среднесуточным количеством осадков выше 10 мм в год}$

средний =  $-108,458 + 0,078 \cdot \text{сумма температур воздуха выше } +5^{\circ}\text{C в год} + 1,691 \cdot \text{число дней со среднесуточным количеством осадков выше 10 мм в год}$

низкий =  $-133,589 + 0,086 \cdot \text{сумма температур воздуха выше } +5^{\circ}\text{C в год} + 2,068 \cdot \text{число дней со среднесуточным количеством осадков выше 10 мм в год}$

- значение лямбды Уилкса равно 0, 5256460

Проверка совпадений действительной классификации и предсказанной: 74% совпадений



1. Выявленные корреляционные связи между количеством активных клещей и метеорологическими факторами в Санкт-Петербурге являются статистически значимыми и зависят от особенностей биотопов, в которых производились сборы и методики сбора клещей.
2. Из множества метеорологических факторов наибольшее влияние на количество активных клещей оказывают характеристики осадков в сочетании с определенным термическим режимом.
3. В относительно стабильных климатических условиях, происходит уменьшение количества активных клещей от года к году.
4. Расчеты показали, что вероятности появления редких лимитирующих метеорологических событий, которые могут нарушить баланс клещевой системы, равны 0, что в свою очередь не приведет к уменьшению количества клещей.
5. Проведенный спектральный анализ не позволил выявить ритмики в многолетних изменениях, как основных метеорологических характеристик, так и количества активных клещей.
6. Составление прогноза обилия активных клещей для каждого клещевого биотопа не представляется возможным. В прогностических целях можно использовать примерные оценки обилия клещей в зависимости от метеорологических характеристик лет предшествующих конкретному сезону, а также метеорологические характеристики типичных лет.



Спасибо за внимание!