

УДК 551.583.13

DOI: 10.18522/2308-9709-2026-56-11

ВЛИЯНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ПЧЕЛОВОДСТВО В ЯКУТИИ

Залялов М. Р.¹, Черосов М. М.², Шарипов А. Я.^{2*}

^{1,2}Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства
имени М.Г. Сафронова, Якутск, Россия

²Башкирский научно-исследовательский центр по пчеловодству и апитерапии,
Уфа, Россия

mzalyalov@gmail.com, cherosov@mail.ru, asharipov63@mail.ru*

ORCID: 0009-0008-1174-5880, 0000-0002-9634-8700, 0009-0000-3498-5379

Аннотация

Исследование изменений климата и их влияния на сельское хозяйство является важной темой изучения. Статья посвящена исследованию пространственно-временной трансформации термического режима в Якутии и оценке его биоклиматического потенциала для развития северного пчеловодства. Исследование основывается на метеорологических данных, охватывающих временной промежуток с 40-х годов прошлого столетия до 20-х годов XXI века. Для исследования климатических изменений в пространстве и времени были проанализированы данные среднемесячных и среднесуточных температур воздуха с 7 метеостанций республики: бухта Амбарчик (Арктическая сельскохозяйственная зона), Оймякон и Алдан (Горно-таежная зона), Амга (Заречная зона), Якутск (Центральная зона), Нюрба (Западная зона) и Ленск (Среднеленская зона). Эти данные доступны на открытом портале «Погода и климат». В ходе исследования выявлена сезонная асинхронность изменений, включая мощный тренд весеннего потепления, термический консерватизм летне-осеннего периода и географическую дихотомию зимы. Современные климатические изменения благоприятно влияют на биоклиматические условия 5 сельскохозяйственных зон – Заречной, Центральной, Западной, Среднеленской и Горно-таёжной (в её южной части), что способствует развитию пчеловодства. Это связано с увеличением числа продуктивно-лётных дней пчёл в июне и устойчивыми погодными условиями в июле.

Ключевые слова

Якутия; сельскохозяйственная зона; метеостанция; температура воздуха; тест Манна-Кендалла; продуктивно-лётные дни пчёл.

Введение

Анализ климатических изменений и их воздействия на сельское хозяйство становится всё более актуальным. Региональные исследования играют важную роль в разработке эффективных практических решений. Так, в Республике Саха (Якутия), которая расположена на севере Восточной Сибири, до начала XXI века не было аборигенных пчёл. Однако в последние годы в республике наблюдается быстрое развитие пчеловодства. В 2018 году здесь насчитывалось 347 пчелиных семей, а к 2023 году их число выросло в 3,3 раза, достигнув 1145 семей пчел (Васильев, 2023). В связи с активным развитием пчеловодства в Якутии необходимо провести исследование влияния местных климатических изменений, особенно температурных колебаний, на эту отрасль. Анализ температурных изменений поможет выявить потенциальные риски и преимущества, а также определить перспективы дальнейшего развития пчеловодства в этом регионе России.

Цель исследования – выявить на основе анализа долгосрочных 90-летних метеорологических рядов пространственно-временные закономерности изменения термического режима Якутии и дать прогностическую оценку биоклиматического потенциала региона для развития пчеловодства.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Рассчитать параметры многолетних климатических трендов методом наименьших квадратов (МНК) и верифицировать их надежность с помощью робастного непараметрического критерия Манна-Кендалла по 7 репрезентативным метеостанциям.

2. Провести пространственно-временное сопоставление вековой динамики среднемесячных температур воздуха и выявить географические закономерности проявления потепления в различных сельскохозяйственных зонах республики.

3. Проанализировать характер изменений термических условий в период активного пчеловодного сезона (май, июнь, июль).

4. Провести сравнительный анализ числа благоприятных дней для сбора нектара пчелами (продуктивно-лётных дней пчёл) в 40-х годах прошлого века и 20-х годах XXI века.

5. Сформулировать прогностические оценки, потенциальные возможности и риски для ведения пчеловодства в Якутии в условиях наблюдаемой трансформации климата.

Материалы и методы исследования

Работа проведена в 2026 году в Республике Саха (Якутия). Территория республики по комплексу природно-климатических, почвенных, географических и других факторов разделена на 6 сельскохозяйственных зон (Даянова и др., 2022), которые стали объектом изучения. Предметом исследования стал анализ пространственно-временных характеристик температурного режима в сельскохозяйственных зонах, с акцентом на взаимосвязь между температурными сдвигами и изменениями числа продуктивно-лётных дней пчёл. Проанализирована многолетняя динамика температуры воздуха на 7 метеостанциях: бухта Амбарчик (Арктическая сельскохозяйственная зона), Оймякон и Алдан (Горно-таежная зона), Амга (Заречная зона), Якутск (Центральная зона), Нюрба (Западная зона) и Ленск (Среднеленская зона) (рис. 1).



Рис.1. Сельскохозяйственные зоны Республики Саха (Якутия) и метеостанции: 1 – бухта Амбарчик, 2 – Оймякон, 3 – Алдан, 4 – Амга, 5 – Якутск, 6 – Нюрба, 7 – Ленск

Базой исходных данных за период с 40-х годов прошлого века до 20-х годов XXI века послужили материалы, представленные на открытом портале «Погода и климат» (<http://www.pogodaiklimat.ru>).

Для верификации климатических трендов применялся непараметрический критерий Манна-Кендалла. В отличие от метода наименьших квадратов (МНК), этот робастный тест не требует нормального распределения данных и устойчив к экстремальным выбросам (Mann, 1945; Kendall, Gibbons, 1962), что делает его стандартом в современной климатологии. Метод основан на анализе знаков разностей между всеми последовательными парами элементов временного ряда (статистика S). На его основе рассчитана стандартизированная Z-статистика: положительные значения указывают на потепление, отрицательные – на

похолодание. Статистическая значимость тренда определяется сравнением эмпирического значения Z с критическим порогом (при $\alpha = 0.05$ порог $Z_{\text{крит}} = 1.96$). Значения $Z > 1.96$ подтверждают достоверность тренда и исключают случайные колебания. Предварительная очистка рядов от выбросов и аномалий, а также проверка на автокорреляцию не проводилась.

Число продуктивно-лётных дней пчёл определено путём суммирования дней в мае, июне и июле, когда среднесуточная температура превышала $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Пчелы вылетают из улья при температуре не ниже $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$, при этом они продуктивно собирают нектар при температуре выше $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Таранов, 1986).

Результаты исследования и их обсуждение

Авторами вначале проанализировано число продуктивно-лётных дней пчёл. Затем был совместно проведён анализ параметров линейных трендов среднемесячной температуры воздуха по всем 7 метеостанциям.

Итак, многолетняя динамика температуры воздуха на метеостанции бухта Амбарчик, расположенной в Арктической зоне, приведена в табл. 1.

Таблица 1. Анализ исходных данных метеостанции бухта Амбарчик

Анализ линейных трендов среднемесячных температур (1936-2025 гг.)						
Месяц	Наклон тренда (МНК)	p-value (МНК)	Tau Кендалла (τ)	Статистика Z	p-значение (Манн-Кендалл)	Статистическая значимость (p)
Январь	+ 0.0305	0.1790	+ 0.0894	+ 1.24	0.2150	> 0.05
Февраль	+ 0.0521	0.0099	+ 0.1802	+ 2.51	0.0121	> 0.05
Март	+ 0.0602	< 0.0001	+ 0.3014	+ 4.20	< 0.0001	< 0.001
Апрель	+ 0.0420	0.0001	+ 0.2618	+ 3.65	0.0003	< 0.001
Май	+ 0.0315	0.0006	+ 0.2285	+ 3.18	0.0015	< 0.01
Июнь	+ 0.0345	0.0001	+ 0.2507	+ 3.49	0.0005	< 0.001
Июль	+ 0.0132	0.1012	+ 0.0911	+ 1.27	0.2041	> 0.05
Август	+ 0.0185	0.0242	+ 0.1502	+ 2.09	0.0366	< 0.05
Сентябрь	+ 0.0116	0.1384	+ 0.0934	+ 1.30	0.1936	> 0.05
Октябрь	+ 0.0321	0.0118	+ 0.1702	+ 2.37	0.0178	< 0.05
Ноябрь	+ 0.0506	0.0003	+ 0.2312	+ 3.22	0.0013	< 0.01
Декабрь	+ 0.0134	0.3912	+ 0.0501	+ 0.70	0.4839	> 0.05
Продуктивно-лётные дни пчёл, шт.						
Год	Май	Июнь	Июль	Май	Июнь	Июль
1948 / 2021	0	1	0	0	3	4
1949 / 2022	0	1	1	0	0	2
1950 / 2023	0	0	1	0	1	6
1951 / 2024	0	3	7	0	0	2
1952 / 2025	0	0	3	0	1	3
В среднем	0	0.6	2.4	0	1.0	3.4
Итого	3.0			4.4		

Местный климат остаётся чрезвычайно суровым, а пчеловодный сезон – очень коротким (всего 3-4 дня). Вывод очевиден: в настоящее время климат Арктики не подходит для разведения пчёл.

Изменения температуры воздуха на метеостанции Оймякон, расположенной в восточной части Горно-таёжной зоны, отражены в табл. 2.

Таблица 2. Анализ исходных данных метеостанции Оймякон

Анализ линейных трендов среднемесячных температур (1936-2025 гг.)						
Месяц	Наклон тренда (МНК)	p-value (МНК)	Тау Кендалла (τ)	Статистика Z	p-значение (Манн-Кендалл)	Статистическая значимость (p)
Январь	+ 0.0212	0.1776	+ 0.0944	+ 1.16	0.2306	> 0.05
Февраль	+ 0.0308	0.0088	+ 0.1904	+ 2.12	0.1287	< 0.05
Март	+ 0.0684	< 0.0001	+ 0.2414	+ 4.24	< 0.0001	< 0.001
Апрель	+ 0.0384	0.0001	+ 0.2622	+ 2.85	0.0008	< 0.001
Май	+ 0.0415	0.0001	+ 0.2304	+ 3.24	0.0002	< 0.01
Июнь	+ 0.0304	0.0001	+ 0.2806	+ 3.12	0.0005	< 0.001
Июль	+ 0.0247	0.0987	+ 0.0886	+ 1.24	0.3056	> 0.05
Август	+ 0.0386	0.0270	+ 0.1464	+ 1.76	0.0766	> 0.05
Сентябрь	+ 0.0033	0.0112	+ 0.0911	+ 1.27	0.2041	> 0.05
Октябрь	+ 0.0212	0.0202	+ 0.1661	+ 2.04	0.0201	< 0.05
Ноябрь	+ 0.0266	0.1001	+ 0.2002	+ 2.87	0.0322	< 0.01
Декабрь	+ 0.0144	0.3173	+ 0.0612	+ 0.70	0.4634	> 0.05
Продуктивно-лётные дни пчёл, шт.						
Год	Май	Июнь	Июль	Май	Июнь	Июль
1948 / 2021	0	3	7	0	5	12
1949 / 2022	0	4	12	0	6	14
1950 / 2023	0	1	17	0	3	16
1951 / 2024	0	1	16	0	6	12
1952 / 2025	0	5	11	0	4	13
В среднем	0	2.8	12.6	0	4.8	13.4
Итого	15.4			18.2		

Климат Оймякона продолжает оставаться крайне суровым. За год в этом регионе насчитывается всего 15-18 продуктивно-лётных дней пчёл, при этом большинство из них выпадает на июль (13 дней). Этого числа дней явно недостаточно для успешного занятия пчелами в Оймяконе.

Метеостанция Алдан расположена в южной части Горно-таежной зоны. Анализ исходных данных метеостанции приведен в табл. 3.

Таблица 3. Анализ исходных данных метеостанции Алдан

Анализ линейных трендов среднемесячных температур (1936-2025 гг.)

Месяц	Наклон тренда (МНК)	p-value (МНК)	Tau Кендалла (τ)	Статистика Z	p-значение (Манн-Кендалл)	Статистическая значимость (p)
Январь	+ 0.0218	0.1810	+ 0.0864	+ 1.14	0.2242	> 0.05
Февраль	+ 0.0414	0.0041	+ 0.2001	+ 2.68	0.0155	< 0.05
Март	+ 0.0699	< 0.0001	+ 0.4136	+ 4.86	< 0.0001	< 0.001
Апрель	+ 0.0320	< 0.0001	+ 0.2914	+ 4.20	< 0.0001	< 0.001
Май	+ 0.0334	0.0001	+ 0.2674	+ 3.65	0.0003	< 0.001
Июнь	+ 0.2988	0.0001	+ 0.2066	+ 3.29	0.0012	< 0.001
Июль	+ 0.0088	0.1792	+ 0.0875	+ 1.14	0.2458	> 0.05
Август	+ 0.0178	0.0470	+ 0.1468	+ 1.68	0.0728	> 0.05
Сентябрь	+ 0.0056	+0.5160	+ 0.0369	+ 0.50	0.6171	> 0.05
Октябрь	+ 0.0286	0.0012	+ 0.1877	+ 1.88	0.0009	< 0.001
Ноябрь	+ 0.0412	0.0105	+ 0.2312	+ 2.61	0.0014	< 0.01
Декабрь	+ 0.0304	0.0088	+ 0.1450	+ 2.04	0.0224	> 0.05
Продуктивно-лётные дни пчёл, шт.						
Год	Май	Июнь	Июль	Май	Июнь	Июль
1936 / 2021	0	14	22	1	19	25
1937 / 2022	0	13	21	0	20	26
1938 / 2023	0	12	22	0	14	23
1939 / 2024	0	10	25	2	18	27
1940 / 2025	0	17	27	4	19	21
В среднем	0	13.2	23.4	1.4	18.0	24.4
Итого	36.6			43.8		

В Алданском улусе за исследуемый период число продуктивно-лётных дней пчёл выросло на 7 дней, преимущественно за счет июня (5 дней). В наши дни общее число таких дней в период активного пчеловодного сезона достигло 44. Сегодня пчеловодство в улусе активно развивается.

Метеостанция Амга расположена в Заречной зоне (табл. 4).

Таблица 4. Анализ исходных данных метеостанции Амга

Анализ линейных трендов среднемесячных температур (1936-2025 гг.)						
Месяц	Наклон тренда (МНК)	p-value (МНК)	Tau Кендалла (τ)	Статистика Z	p-значение (Манн-Кендалл)	Статистическая значимость (p)
Январь	+ 0.0617	0.0006	+ 0.2285	+ 3.18	0.0015	< 0.01
Февраль	+ 0.0543	0.0009	+ 0.2268	+ 3.16	0.0016	< 0.01
Март	+ 0.0716	< 0.0001	+ 0.3340	+ 4.66	< 0.0001	< 0.001
Апрель	+ 0.0469	< 0.0001	+ 0.3014	+ 4.20	< 0.0001	< 0.001
Май	+	0.0001	+ 0.2618	+ 3.65	0.0003	< 0.001

	0.0345					
Июнь	+ 0.0305	0.0016	+ 0.2078	+ 2.90	0.0038	< 0.001
Июль	+ 0.0134	0.0988	+ 0.1065	+ 1.48	0.1384	> 0.05
Август	+ 0.0185	0.0270	+ 0.1264	+ 1.76	0.0784	> 0.05
Сентябрь	+ 0.0132	0.0890	+ 0.0934	+ 1.30	0.1932	> 0.05
Октябрь	+ 0.0396	0.0002	+ 0.2678	+ 3.73	0.0002	< 0.001
Ноябрь	+ 0.0506	0.0005	+ 0.2307	+ 3.21	0.0013	< 0.01
Декабрь	+ 0.0321	0.0242	+ 0.1652	+ 2.30	0.0213	< 0.05
Продуктивно-лётные дни пчёл, шт.						
Год	Май	Июнь	Июль	Май	Июнь	Июль
1948 / 2021	0	22	28	4	27	28
1949 / 2022	1	19	28	3	28	27
1950 / 2023	0	21	26	3	23	27
1951 / 2024	1	23	27	6	22	28
1952 / 2025	0	19	24	3	24	24
В среднем	0.4	20.8	26.6	3.8	24.8	26.8
Итого	47.8			55.4		

В настоящее время в Амгинском улусе число продуктивно-лётных дней пчёл составляет 55. Это число, по сравнению с 40-ми годами прошлого века, увеличилось на 8 дней, главным образом за счет мая (3 дня) и июня (4 дня).

Метеостанция Якутск расположена в Центральной зоне (табл. 5).

Таблица 5. Анализ исходных данных метеостанции Якутск

Анализ линейных трендов среднемесячных температур (1936-2025 гг.)						
Месяц	Наклон тренда (МНК)	p-value (МНК)	Тау Кендалла (τ)	Статистика Z	p-значение (Манн-Кендалл)	Статистическая значимость (p)
Январь	+ 0.0852	< 0.0001	+ 0.3867	+ 5.38	< 0.0001	< 0.001
Февраль	+ 0.0669	< 0.0001	+ 0.3801	+ 5.28	< 0.0001	< 0.001
Март	+ 0.0699	< 0.0001	+ 0.3877	+ 5.38	< 0.0001	< 0.001
Апрель	+ 0.0520	< 0.0001	+ 0.3848	+ 5.34	< 0.0001	< 0.001
Май	+ 0.0326	0.0000032	+ 0.3306	+ 4.57	< 0.0001	< 0.001
Июнь	+ 0.0352	0.0000006	+ 0.3239	+ 4.48	< 0.0001	< 0.001
Июль	+ 0.0200	0.0016	+ 0.2153	+ 2.98	0.0029	< 0.01
Август	+ 0.0101	0.0864	+ 0.1218	+ 1.68	0.0928	> 0.05
Сентябрь	+ 0.0011	0.8526	+ 0.0078	+ 0.10	0.0917	> 0.05
Октябрь	+ 0.0253	0.0102	+ 0.1964	+ 2.73	0.0064	< 0.01
Ноябрь	+ 0.0609	0.0000203	+ 0.3093	+ 4.30	< 0.0001	< 0.001
Декабрь	+ 0.0536	0.0001	+ 0.2615	+ 3.63	0.0003	< 0.001

Продуктивно-лётные дни пчёл, шт.						
Год	Май	Июнь	Июль	Май	Июнь	Июль
1936 / 2021	0	23	27	3	26	29
1937 / 2022	2	17	28	2	27	28
1938 / 2023	0	17	25	3	24	27
1939 / 2024	1	21	28	5	24	29
1940 / 2025	0	22	28	4	21	27
В среднем	0.6	20.0	27.2	3.4	24.4	28.0
Итого	47.2			55.8		

За последние девяносто лет в Центральной зоне республики число продуктивно-лётных дней пчёл увеличилось до 9. Наибольший рост наблюдается в мае (3 дня) и июне (5 дней). В настоящее время в активный пчеловодный сезон насчитывается 56 продуктивно-лётных дней. Пчеловодство в улусе успешно развивается.

Многолетняя динамика температуры воздуха, зафиксированной на метеостанции Нюрба, расположенной в Западной зоне, приведена в табл. 6.

Таблица 6. Анализ исходных данных метеостанции Нюрба

Анализ линейных трендов среднемесячных температур (1936-2025 гг.)						
Месяц	Наклон тренда (МНК)	p-value (МНК)	Тау Кендалла (τ)	Статистика Z	p-значение (Манн-Кендалл)	Статистическая значимость (p)
Январь	+ 0.0309	0.1921	+ 0.0901	+ 2.12	0.0220	> 0.05
Февраль	+ 0.0318	0.0142	+ 0.1998	+ 1.78	0.0988	< 0.05
Март	+ 0.0716	< 0.0001	+ 0.4971	+ 4.82	< 0.0001	< 0.001
Апрель	+ 0.0432	< 0.0001	+ 0.3648	+ 4.67	< 0.0001	< 0.001
Май	+ 0.0328	< 0.0001	+ 0.3406	+ 5.12	< 0.0001	< 0.001
Июнь	+ 0.0299	0.0001	+ 0.2078	+ 3.82	0.0012	< 0.001
Июль	+ 0.0142	0.1182	+ 0.0912	+ 1.24	0.2042	> 0.05
Август	+ 0.0124	0.1456	+ 0.0941	+ 1.32	0.1932	> 0.05
Сентябрь	+ 0.0128	0.3894	+ 0.0512	+ 0.72	0.4843	> 0.05

Октябрь	+ 0.0166	0.3201	+ 0.0468	+ 0.88	0.6080	> 0.05
Ноябрь	+ 0.0847	0.0211	+ 0.2185	+ 1.07	0.0224	< 0.05
Декабрь	+ 0.0298	0.0178	+ 0.1674	+ 1.98	0.0802	> 0.05
Продуктивно-лётные дни пчёл, шт.						
Год	Май	Июнь	Июль	Май	Июнь	Июль
1936 / 2021	0	7	22	1	16	19
1937 / 2022	0	11	24	0	17	24
1938 / 2023	0	7	26	1	16	27
1939 / 2024	0	8	26	0	18	23
1940 / 2025	0	10	21	1	14	26
В среднем	0	8.6	23.8	0.6	16.2	23.8
Итого	32.4			40.6		

В Нюрбинском улусе число продуктивно-лётных дней пчёл выросло на 8, в основном за счёт июня (7 дней). Сейчас в активный пчеловодный сезон насчитывается 41 такой день. Среди других улусов Нюрба показывает самый низкий показатель по числу продуктивно-лётных дней пчел.

Метеостанция Ленск расположена в Среднеленской зоне (табл. 7).

Таблица 7. Анализ исходных данных метеостанции Ленск

Анализ линейных трендов среднемесячных температур (1936-2025 гг.)						
Месяц	Наклон тренда (МНК)	p-value (МНК)	Тау Кендалла (τ)	Статистика Z	p-значение (Манн-Кендалл)	Статистическая значимость (p)
Январь	+ 0.0316	0.1810	+ 0.0853	+ 1.16	0.2460	> 0.05
Февраль	+ 0.0603	0.0029	+ 0.1998	+ 2.72	0.0066	< 0.01
Март	+ 0.0721	< 0.0001	+ 0.3134	+ 4.26	< 0.0001	< 0.001
Апрель	+ 0.0297	0.0032	+ 0.2258	+ 3.06	0.0022	< 0.01
Май	+ 0.0270	< 0.0001	+ 0.2713	+ 3.67	0.0002	< 0.001
Июнь	+ 0.0281	< 0.0001	+ 0.2906	+ 3.93	0.0001	< 0.001
Июль	+ 0.0072	0.2796	+ 0.0875	+ 1.18	0.2368	> 0.05
Август	+ 0.0133	0.0121	+ 0.1705	+ 2.30	0.0213	< 0.05
Сентябрь	+ 0.0038	0.5160	+ 0.0481	+ 0.65	0.5160	> 0.05
Октябрь	+ 0.0055	0.5949	+ 0.0369	+ 0.50	0.6171	> 0.05
Ноябрь	+ 0.0441	0.0132	+ 0.1851	+ 2.52	0.0118	< 0.05
Декабрь	+ 0.0207	0.2497	+ 0.0840	+ 1.14	0.2536	> 0.05
Продуктивно-лётные дни пчёл, шт.						
Год	Май	Июнь	Июль	Май	Июнь	Июль

1936 / 2021	0	20	31	1	23	27
1937 / 2022	0	6	23	0	23	28
1938 / 2023	0	7	26	0	15	26
1939 / 2024	0	9	27	8	20	27
1940 / 2025	0	18	24	4	14	24
В среднем	0	12.0	26.2	2.6	19.0	26.4
Итого	38.2			48.0		

За анализируемый период в Ленске число продуктивно-лётных пчел возросло на 10 дней, преимущественно за счет июня (7 дней). В итоге общее число таких дней достигло 48. Сегодня в улусе пчеловодство активно развивается.

Выводы

Анализ числа продуктивно-лётных дней пчёл выявил следующее.

1. В условиях Якутии для успешного занятия пчеловодством число продуктивно-лётных дней пчёл в период активного пчеловодного сезона должно составлять не менее 41 дня.

2. В июле за анализируемый период число продуктивно-лётных дней пчёл практически не изменилось. Если в 40-х годах прошлого века этот показатель составлял 25.4 дня, то в 20-х годах XXI века – 25.8 дня.

Анализ результатов исследования линейных трендов среднемесячных температур показал следующие значимые тенденции.

1. Синхронный весенний климатический сдвиг (макрорегиональный тренд).

Наиболее мощным, стабильным и пространственно однородным климатическим сигналом на всех исследуемых сельскохозяйственных зонах является интенсивный рост среднемесячных температур в марте, апреле и мае. Так, в марте для всех метеостанций без исключения зафиксированы сверхвысокие уровни статистической значимости тренда ($p < 0.001$), при этом эмпирические значения Z-статистики Манна-Кендалла достигают экстремальных величин: от + 4.20 (бухта Амбарчик) до + 5.38 (Якутск). Скорость линейного потепления в этот период варьирует от + 0.060 (бухта Амбарчик) до + 0.072 °C (Ленск) в год. С физико-географической точки зрения

данный феномен указывает на то, что главным драйвером современного потепления в регионе является изменение интенсивности и повторяемости зимнего Азиатского (Сибирского) антициклона, пространственно-временная динамика которого претерпевает трансформацию в последние десятилетия (Sun et al., 2021).

Потепление в июне – ключевой благоприятный фактор для пчеловодства в Якутии. На всех метеостанциях зафиксированы значительные статистические тренды ($p < 0.001$), при этом Z-статистика Манна-Кендалла варьирует от + 3.12 (Оймякон) до + 4.48 (Якутск). Годовая скорость потепления в этот период составляет от + 0.028 °C (Ленск) до + 0.035 °C (Якутск). Июньское потепление не только увеличивает число продуктивно-лётных дней пчёл (до 7), но и способствует интенсивному цветению основных таежных и луговых медоносов.

2. Консервативность и термическая стабильность летне-осеннего сезона.

Разгар теплого сезона (июль, август) и начало осени (сентябрь), в противоположность весеннему периоду, характеризуются крайней устойчивостью и практически полным отсутствием статистически значимых изменений. На исследуемых метеостанциях тренды потепления в сентябре полностью нивелируются: значение Z снижается до уровня от + 0.10 (Якутск) до +1.30 (Амга, бухта Амбарчик) при $p > 0.05$.

В августе тенденция к потеплению климата статистически значима только на метеостанциях бухта Амбарчик ($Z = + 2.09$, $p < 0.05$) и Ленск ($Z = + 2.30$, $p < 0.05$). В июле же сигнал многовекового тренда выражен очень слабо. Этот контраст указывает на то, что в разгар теплого сезона синоптические процессы определяются преимущественно местным радиационным балансом и трансформацией воздушных масс над подстилающей поверхностью тайги (Скрябин и др., 1999). Локальные физико-географические механизмы успешно демпфируют макромасштабные флуктуации, обеспечивая стабильность температур в августе и сентябре («бабье лето»), что подтверждает неизменность инсоляционного режима региона за последние девять десятилетий.

Выявлено, что разгар лета остается наиболее устойчивым элементом климатической системы. Для отрасли пчеловодства это несет прогностическую стабильность. Температурный режим июля за исследуемый период не претерпел экстремальных изменений, сохраняя привычные многолетние нормы радиационного баланса, необходимые для максимального выделения нектара

таежной растительностью (например, основным медоносом республики – кипреем узколиственным).

3. Континентальная дихотомия зимнего периода.

В зимний сезон (декабрь, январь, февраль) географический вектор изменений претерпевает резкое разделение, зависящее от геоморфологических условий конкретных метеостанций. Во-первых, в Арктике зима остается суровой. Во-вторых, наблюдается очаг зимнего потепления в Центральной и Заречной сельскохозяйственных зонах. На метеостанциях Якутск и Амга обнаружен уникальный для региона вековой тренд резкого смягчения зим. Так, в январе на метеостанции Якутск зафиксирована максимальная для всего исследования скорость роста температур ($+ 0.085$ °C в год) при абсолютной статистической надежности ($Z = + 5.38$, $p < 0.001$). Также высоко значимый тренд сохраняется в декабре ($Z = + 3.63$, $p < 0.001$) и феврале ($Z = + 5.28$, $p < 0.001$). В-третьих, это блокировка потепления в Западной, Среднеленской и Горно-таежных сельскохозяйственных зонах. Так, на метеостанциях Ленск, Нюрба, Алдан, а также на Полюсе холода в Оймяконе тренды декабря и января оказываются полностью незначимыми (Z колеблется в пределах от $+ 0.70$ (Оймякон) до $+ 2.12$ (Нюрба) при $p > 0.20$).

Выявленная дихотомия обусловлена орографическими особенностями региона. В глубоких межгорных впадинах Восточной Якутии (в частности, в Оймяконской котловине) и замкнутых долинах запада республики при зимнем антициклогенезе формируются мощные приземные температурные инверсии. Этот инверсионный слой выхолаженного воздуха обладает высокой термодинамической устойчивостью. В результате адвекция тепла в свободной атмосфере, вызванная крупномасштабными климатическими изменениями, практически не проникает к земной поверхности. Это изолирует нижний слой тропосферы данных районов от глобальных термических трендов и обеспечивает стабильность экстремально низких зимних температур (Miller et al., 2021).

Заключение

Климатические изменения на территории Якутии за период 1936–2025 гг. не являются пространственно и сезонно однородными. Эмпирические данные доказывают, что потепление носит ярко выраженный весенне-раннелетний характер для всей территории республики.

Зимнее потепление имеет строго очаговой (долинно-центральный) характер и полностью блокируется мощными процессами выхолаживания и

инверсий в межгорных депрессиях Северо-Востока и долинах Западной Якутии.

Сравнительный анализ температурных условий в мае, июне и июле показывает, что текущие климатические изменения в Якутии благоприятны для пчеловодства. Это объясняется увеличением числа продуктивно-лётных дней пчёл в мае и июне при сохранении стабильных погодных условий в июле.

Благодарности и финансирование

Работа выполнена в соответствии с договором о сотрудничестве между Якутским научно-исследовательским институтом сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова и Башкирским научно-исследовательским центром по пчеловодству и апитерапии (№ 122 от 08 апреля 2025 г).

Список источников

1. Васильев Н.П. Перспективы развития пчеловодства как части органического рынка Республики Саха (Якутия) // Вестник Евразийской науки. 2023. Том 15. № 5.

2. Даянова Г.И. Протопопова Л.Д., Крылова А.Н., Никитина Н.Н. Пространственное зонирование сельских территорий Республики Саха (Якутия) // Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. Том 65. № 5 (389). С. 449-458.

3. Скрыбин П. Н., Скачков Ю. Б., Варламов С. П. Потепление климата и изменение термического состояния грунтов в Центральной Якутии // Криосфера Земли. 1999. Т. 3. № 3. С. 32-40. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-3-398-414>.

4. Таранов Г.Ф. Корма и кормление пчел. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Россельхозиздат, 1986. С. 16.

5. Kendall M. G., Gibbons J. D. Rank correlation methods. London: Charles Griffin, 1962. 199 p.

6. Mann H. B. Nonparametric tests against trend // Econometrical: Journal of the Econometric Society. 1945. Vol. 13. № 3. P. 245-259.

7. Miller J. R., Fuller J. E., Puma M. J., Finnegan J. M. Elevation-dependent warming in the Eastern Siberian Arctic // Environmental Research Letters. 2021. Vol. 16. № 2. Art. 024044. DOI: 10.1088/1748-9326/abdbe2.

8. Sun C., Zuo J., Shi X. et al. Diverse Inter-Annual Variations of Winter Siberian High and Link With Eurasian Snow in Observation and BCC-CSM2-MR

Coupled Model Simulation // *Frontiers in Earth Science*. 2021. Vol. 9. Art. 761311. DOI: 10.3389/feart.2021.761311.

References

1. Vasilev N.P. Prospects for the development of beekeeping as part of the organic market of the Republic of Sakha (Yakutia) // *Bulletin of Eurasian Science*. 2023. Volume 15. No. 5. (in Rus)
2. Dayanova G.I. Protopopova L.D., Krylova A.N., Nikitina N.N. Spatial zoning of rural areas of the Republic of Sakha (Yakutia) // *International Agricultural Journal*. 2022. Volume 65. No. 5 (389). P. 449-458. (in Rus)
3. Scriabin P. N., Skachkov Yu. B., Varlamov S. P. Climate warming and changes in the thermal state of soils in Central Yakutia // *Cryosphere of the Earth*. 1999. Vol. 3. No. 3. pp. 32-40. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-3-398-414>. (in Rus)
4. Taranov G.F. Feed and feeding of bees. 2nd ed., ed. and additional M.: Rosselkhozizdat, 1986. P. 16. (in Rus)
5. Kendall M. G., Gibbons J. D. Rank correlation methods. London: Charles Griffin, 1962. 199 p.
6. Mann H. B. Nonparametric tests against trend // *Econometrical: Journal of the Econometric Society*. 1945. Vol. 13. № 3. P. 245-259.
7. Miller J. R., Fuller J. E., Puma M. J., Finnegan J. M. Elevation-dependent warming in the Eastern Siberian Arctic // *Environmental Research Letters*. 2021. Vol. 16. № 2. Art. 024044. DOI: 10.1088/1748-9326/abdbe2.
8. Sun C., Zuo J., Shi X. et al. Diverse Inter-Annual Variations of Winter Siberian High and Link With Eurasian Snow in Observation and BCC-CSM2-MR Coupled Model Simulation // *Frontiers in Earth Science*. 2021. Vol. 9. Art. 761311. DOI: 10.3389/feart.2021.761311.

THE INFLUENCE OF SPATIAL AND TEMPORAL CHANGES AIR TEMPERATURES FOR BEEKEEPING IN YAKUTIA

Zalyalov M. R.¹, Cherosov M. M.², Sharipov A. Ya.^{2*}

^{1,2}*Yakutsk Research Institute of Agriculture named after M.G. Safronova, Yakutsk,
Russia* ²*Bashkir Research Center for Beekeeping and Apitherapy, Ufa, Russia*

mzalyalov@gmail.com, cherosov@mail.ru, asharipov63@mail.ru^{*}

ORCID: 0009-0008-1174-5880, 0000-0002-9634-8700, 0009-0000-3498-5379

Abstract

The study of climate change and its impact on agriculture is an important topic of study. The article is devoted to the study of the spatial and temporal transformation of the thermal regime in Yakutia and the assessment of its bioclimatic potential for the development of northern beekeeping. The study is based on meteorological data covering the time period from the 40s of the last century to the 20s of the 21st century. To study climate changes in space and time, data on average monthly and average daily air temperatures from 7 meteorological stations of the republic were analyzed: Ambarchik Bay (Arctic agricultural zone), Oymyakon and Aldan (Mountain Taiga zone), Amga (Zarechnaya zone), Yakutsk (Central zone), Nyurba (Western zone) and Lensk (Srednelenskaya zone). This data is available on the open Weather and Climate portal. The study revealed seasonal asynchrony of changes, including a powerful trend of spring warming, the thermal conservatism of the summer-autumn period and the geographical dichotomy of winter. Modern climatic changes favourably affect the bioclimatic conditions of 5 agricultural zones — Zarechnaya, Central, Western, Srednelenskaya and Gorno-Taiga (in its southern part), which contributes to the development of beekeeping. This is due to an increase in the number of productive flight days of bees in June and stable weather conditions in July.

Keywords

Yakutia; agricultural zone; weather station; air temperature; Mann-Kendall test; productive-flight days of bees.

Статья поступила в редакцию 10 июня 2026 г.

Поступила после доработки 24 июня 2026 г.

Принята к печати 28 июня 2026 г.

Received 10, June, 2026

Revised 24, June, 2026

Accepted 28, June, 2026