



ДИНАМИКА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА НА ТЕРРИТОРИИ ЯКУТИИ

Тимофеев М. А.

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова», Якутск,
Российская Федерация, e-mail: maksim1993timofeev@yandex.ru*

В статье рассматривается динамика продолжительности вегетационного периода (Growing Season Length, GSL) на территории Республики Саха (Якутия). Цель исследования – получение данных о динамике GSL по данным метеостанций и сравнение с данными климатических моделей. На основе анализа данных опорных 15 метеостанций за 1951–2025 гг. проведена оценка изменения продолжительности вегетационного периода с помощью теста Манна – Кендалла. Статистически значимые возрастающие тренды выявлены на 13 исследуемых станциях, преимущественно в центральных и южных районах. Выполнена верификация с использованием коэффициентов корреляции Пирсона, среднеквадратической ошибки и коэффициента конкордации Лина для пяти климатических моделей: GFDL-ESM2M, MIROC-ESM-CHEM, IPSL-CM5A-LR, NorESM1-M, HadGEM2-ES. Установлено, что за последние десятилетия средняя продолжительность GSL в регионе увеличилась на 6–10 дней, при этом наиболее выраженный рост (до 15–16 дней) зафиксирован в арктической зоне. Верификация моделей показала удовлетворительную точность воспроизведения регионального широтного градиента, однако на локальном уровне выявлена низкая прогностическая способность моделей: большинство коэффициентов корреляции по отдельным станциям являются статистически незначимыми. Сделан вывод о том, что современные глобальные модели адекватно описывают общий климатический фон, но не учитывают мезомасштабную изменчивость, обусловленную сложным рельефом и инверсионными процессами.

Ключевые слова: GSL, продолжительность вегетационного периода, Якутия, метеостанции, изменение климата

DYNAMICS OF GROWING SEASON LENGTH IN YAKUTIA

Timofeev M. A.

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
“North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov”,
Yakutsk, Russian Federation, e-mail: maksim1993timofeev@yandex.ru*

The paper investigates the dynamics of the Growing Season Length (GSL) in the Republic of Sakha (Yakutia). The purpose of the study is to obtain data on GSL dynamics from weather station data and compare it with climate model data. Based on the analysis of data from 15 reference meteorological stations for the period 1951–2025, an assessment of changes in the growing season duration was conducted using the Mann-Kendall test. Statistically significant increasing trends were identified at 13 of the studied stations, predominantly in the central and southern regions. Verification was performed using Pearson correlation coefficients, Root Mean Square Error (RMSE), and Lin's Concordance Correlation Coefficient (CCC) for five climate models: GFDL-ESM2M, MIROC-ESM-CHEM, IPSL-CM5A-LR, NorESM1-M, and HadGEM2-ES. It was established that over the recent decades, the average GSL in the region has increased by 6–10 days, with the most pronounced growth (up to 15–16 days) recorded in the Arctic zone. The model verification showed satisfactory accuracy in reproducing the regional latitudinal gradient; however, at the local level, a low predictive capacity of the models was revealed: most correlation coefficients for individual stations were found to be statistically insignificant. It is concluded that while modern global models adequately describe the general climatic background, they fail to account for meso-scale variability driven by complex topography and temperature inversion processes.

Keywords: GSL, growing season length, Yakutia, meteorological stations, climate change

Введение

Изменение климата, проявляющееся в глобальном повышении температуры воздуха, оказывает существенное влияние на функционирование природных экосистем и хозяйственную деятельность человека. Одним из наиболее информативных индикаторов этих изменений в бореальных и арктических регионах является продолжительность вегетационного периода (Growing Season Length, GSL).

Современные климатические изменения на территории России сопровождаются су-

щественной трансформацией термического режима, что зафиксировано в стратегических отчетных документах государственного уровня [1]. Исследования региональных откликов природной среды на потепление указывают на устойчивую тенденцию к изменению характеристик вегетационных периодов, что детально проанализировано на примере Предуралья [2]. Особое внимание в отечественной литературе уделяется динамике фенологических фаз и температурной обеспеченности в различных природно-почвенных зонах, в частности на тер-

ритории Алтайского края [3; 4]. В то же время для регионов криолитозоны, таких как Якутия, вопросы адаптации растительных сообществ к сдвигам вегетационного сезона остаются крайне актуальными и требуют уточнения с учетом современных темпов изменения климата. Несмотря на наличие локальных фенологических наблюдений [5], в настоящее время сохраняется дефицит обобщающих работ, основанных на сопряженном анализе данных метеорологической сети за последние десятилетия и результатов верификации глобальных климатических моделей. В данной статье предпринимается попытка восполнить этот пробел, рассматривая динамику индекса GSL на всей территории Якутии с привлечением данных климатических моделей.

Существует несколько методов определения длительности вегетационного периода. Методики зависят от порогового значения среднесуточной температуры либо от вида растительности. В данной работе использовался критерий устойчивого превышения 5 °C, так как такой способ используется климатическими моделями при моделировании различных сценариев RCP (Representative Concentration Pathways).

Исследование динамики вегетационного периода (GSL) в условиях Северо-Востока России опирается на обширный массив данных о трансформации климата и ландшафтов криолитозоны. Фундаментальные тренды современного потепления в Якутии подробно проанализированы в работах А. Н. Горохова и А. Н. Федорова [6], где показана высокая региональная изменчивость термического режима и его отклик на глобальные вызовы. Вопросы верификации и региональной адаптации прогностических моделей CMIP для территории Якутии находят отражение в работах [7; 8], что создает необходимую методическую базу для сопоставления результатов глобального моделирования с данными метеорологической сети региона.

Наряду с изменением дат начала и окончания вегетации, важным показателем трансформации природной среды выступает динамика теплообеспеченности, в частности рост сумм активных температур выше 10 °C, зафиксированный в сопредельных с Якутией регионах, таких как Забайкальский край [9]. Процессы потепления ведут к существенному пересмотру границ физико-географических районов: современное районирование степных и лесостепных зон демонстрирует устойчивый дрейф изо-

линий увлажнения и теплообеспеченности в сторону усиления засушливости вегетационного периода [10]. В более высоких широтах, в условиях арктического усиления, данные дистанционного зондирования подтверждают значительную пространственно-временную изменчивость растительного покрова Сибири, что подчеркивает необходимость детального анализа региональных термических ресурсов для понимания эволюции северных ландшафтов [11].

Цель исследования – получение данных о динамике GSL по данным метеостанций и сравнение с данными климатических моделей.

Материалы и методы исследования

GSL определяется как интервал между первым днём весной (после 1 января), когда среднесуточная температура воздуха устойчиво превышала 5 °C в течение не менее 6 дней подряд, и первым днём осенью (после 1 июля), когда среднесуточная температура воздуха устойчиво опускалась ниже 5 °C в течение не менее 6 последовательных дней [12].

Данные среднесуточных температур с метеостанций Якутии были скачаны из архива [13]. Часть метеостанций была отсеяна, так как были пропуски в рядах наблюдений. Отобрано 15 метеостанций, у которых не было ни единого пропуска в данных среднесуточной температуры с мая по сентябрь, за 1951–2025 гг. Наличие тренда проверялось критерием Манна – Кендалла, а величина тренда оценивалась по критерию Тейла – Сена.

Информационной базой исследования послужил специализированный массив агроклиматических показателей, разработанный Службой по изменению климата «Коперник» для анализа взаимодействия в системе «растение – климат». Используемые климатические модели: MIROC-ESM-CHEM (Япония), IPSL-CM5A-LR (Франция), NorESM1-M (Норвегия), HadGEM2-ES (Великобритания), GFDL-ESM2M (NOAA, США). Эти пять моделей входят в набор данных агроклиматических показателей [12]. Данный датасет ориентирован на количественную оценку климатической изменчивости в терминах, применимых в сельскохозяйственном секторе и экологическом моделировании.

Пространственное разрешение модельных данных составляет 0,5 ° на 0,5 ° и значения в NC-файлах находятся в узлах сетки. Исторический период включает в себя 1951–2010 г., а прогнозный, по различным

сценариям RCP, охватывает промежуток с 2011 по 2099 г. Для сравнения с данными метеостанций модельные данные извлекались из ближайшего узла сетки. Обработка и расчет производился в среде R Studio.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассчитанные значения GSL по данным метеостанций приведены в табл. 1. Для каждой метеостанции выполнялась проверка ряда по критерию Манна – Кендалла на наличие монотонного тренда. На шести метеостанциях средняя GSL за весь период была выше 120 дней: Сунтар, Усть-Мая, Якутск, Олекминск, Исить и Витим. А наименьшая GSL наблюдается на метеостанции Чокурдах.

Сравнительный анализ (табл. 1) данных за 1961–1990 гг. и 1991–2020 гг. свидетельствует об устойчивой тенденции к увеличению продолжительности вегетационного периода (GSL) на всех исследуемых станциях, что подтверждает значительный отклик региональной климатической системы на глобальное потепление. В среднем рост показателя составил 6–9 дней, при этом наиболее выраженная динамика зафиксирована в центральных районах (Якутск, Исить, Олекминск), где современная продолжительность вегетации превысила 130 дней, тог-

да как на арктических станциях (Чокурдах) она остается минимальной, достигая лишь 68 дней. Параллельно с удлинением сезона на большинстве пунктов (за исключением Оймякона) наблюдается рост межгодовой изменчивости, что указывает на общую дестабилизацию климатического режима и повышение частоты экстремальных погодных явлений, создающих дополнительные риски для сельского хозяйства, несмотря на расширение тепловых ресурсов территории.

Помимо сравнительного анализа, интерес представляют параметры тренда. Есть ли монотонный тренд или нет? В если есть тренд, то его величина изменения. Для оценки направленности и значимости изменений GSL в работе использован непараметрический критерий Манна – Кендалла, а для расчета скорости изменений – оценка наклона Тейла – Сена (табл. 2). Выбор данных методов обусловлен их устойчивостью к выбросам (экстремальным значениям), отсутствием жестких требований к нормальности распределения временных рядов и высокой эффективностью при анализе «шумных» климатических данных. В отличие от метода наименьших квадратов, робастные оценки Тейла – Сена позволяют получить более надежную величину тренда в условиях высокой межгодовой волатильности вегетационного периода.

Таблица 1

Средняя длительность вегетационного периода

Индекс	Название	1951–2025		1961–1990		1991–2020	
		GSL	σ	GSL	σ	GSL	σ
21946	Чокурдах	66	18,3	62	19,8	68	18,3
24125	Оленек	93	15,9	88	16,4	97	16,2
24266	Верхоянск	104	12,4	102	13	105	12,6
24343	Жиганск	105	12,7	100	11,5	108	14,4
24641	Виллюйск	119	11,1	114	10,1	123	11,7
24688	Оймякон	103	9,6	100	9,7	106	7,9
24738	Сунтар	121	10,2	118	8,7	124	10,9
24944	Олекминск	125	9,9	122	9,2	129	9,9
24951	Исить	123	10	120	8,8	129	9,9
24959	Якутск	127	10,6	124	8,6	132	11,4
24966	Усть-Мая	127	10,1	126	10	132	9,6
30054	Витим	124	10,5	120	9	128	11
30372	Чара	118	11,6	116	12,2	122	11,1
30393	Чульман	113	12,4	112	12,7	116	13,8
31004	Алдан	114	10,3	112	9,5	116	11,4

Примечание: составлена автором на основе полученных данных в ходе исследования.

Таблица 2

Параметры тренда по данным метеостанций

Индекс	Название	p-value	τ-Кендалл	Тренд	Величина тренда, дней/год
21946	Чокурдах	0,02821	0,175488	возрастающий	0,21
24125	Оленек	0,00178	0,250811	возрастающий	0,24
24266	Верхоянск	0,19959	0,104177	нет тренда	–
24343	Жиганск	0,05533	0,155099	нет тренда	–
24641	Виллойск	0,00017	0,302091	возрастающий	0,23
24688	Оймякон	0,00270	0,241482	возрастающий	0,16
24738	Сунтар	0,00372	0,233373	возрастающий	0,17
24944	Олекминск	0,00002	0,34491	возрастающий	0,22
24951	Исить	0,00008	0,315991	возрастающий	0,21
24959	Якутск	0,00102	0,264744	возрастающий	0,18
24966	Усть-Мая	0,00247	0,243549	возрастающий	0,18
30054	Витим	0,00437	0,229551	возрастающий	0,16
30372	Чара	0,00040	0,285481	возрастающий	0,20
30393	Чульман	0,02045	0,186793	возрастающий	0,14
31004	Алдан	0,03624	0,169075	возрастающий	0,12

Примечание: составлена автором на основе полученных данных в ходе исследования.

Проверка рядов GSL по критерию Манна – Кендалла выявила наличие статистически значимого тренда у 13 метеостанций (табл. 2). А у станций Верхоянск и Жиганск расчетное p -value $> 0,05$ что говорит об отсутствии тренда.

Дополнительно расчет GSL был проведен и для тех метеостанций, что имели незначительные единичные пропуски в рядах наблюдений суточных температур (рис. 1). Это позволило показать динамику GSL между климатическими периодами. Анализ динамики индекса GSL на территории Якутии свидетельствует о повсеместном удлинении вегетационного периода, составившем в среднем 6–10 дней при сравнении климатических периодов 1961–1990 и 1991–2020 гг. Наиболее выраженная положительная динамика зафиксирована на арктических станциях, таких как Саскылах и Бухта Амбарчик (прирост до 15–16 дней), что подтверждает эффект арктического усиления потепления, в то время как в центральных и южных районах (Якутск, Витим, Олекминск) наблюдается более умеренное увеличение продолжительности сезона в пределах восьми дней. Региональная дифференциация показателей позволяет выделить три зоны: арктическую с минимальным и крайне нестабильным GSL (43–77 дней), центральную

континентальную (100–115 дней) и южную с максимальными значениями индекса, достигающими на станции Учур 136 дней.

На 9 метеостанциях наблюдается увеличение GSL больше 10 дней (рис. 1). На 23 станциях величина изменения была от 5 до 10 дней. И у 10 метеостанций увеличение GSL было менее 5 дней. Несмотря на общий тренд к потеплению, на большинстве станций, отмечается рост межгодовой изменчивости σ , указывающий на усиление нестабильности термического режима, при этом редкие локальные аномалии, такие как сокращение GSL на станции Хатырык-Хомо, подчеркивают значительную пространственную неоднородность климатических процессов в регионе.

Такое дифференцированное увеличение теплообеспеченности создает условия для экспансии лесной растительности в более высокие широты и трансформации биогеографических границ. Сопоставление полученных данных с ландшафтной картой региона подтверждает, что наиболее интенсивная трансформация климатического сигнала происходит в континентальных районах Центральной Якутии, где увеличение GSL выступает драйвером изменения геохимических циклов в мерзлотных таежных ландшафтах.

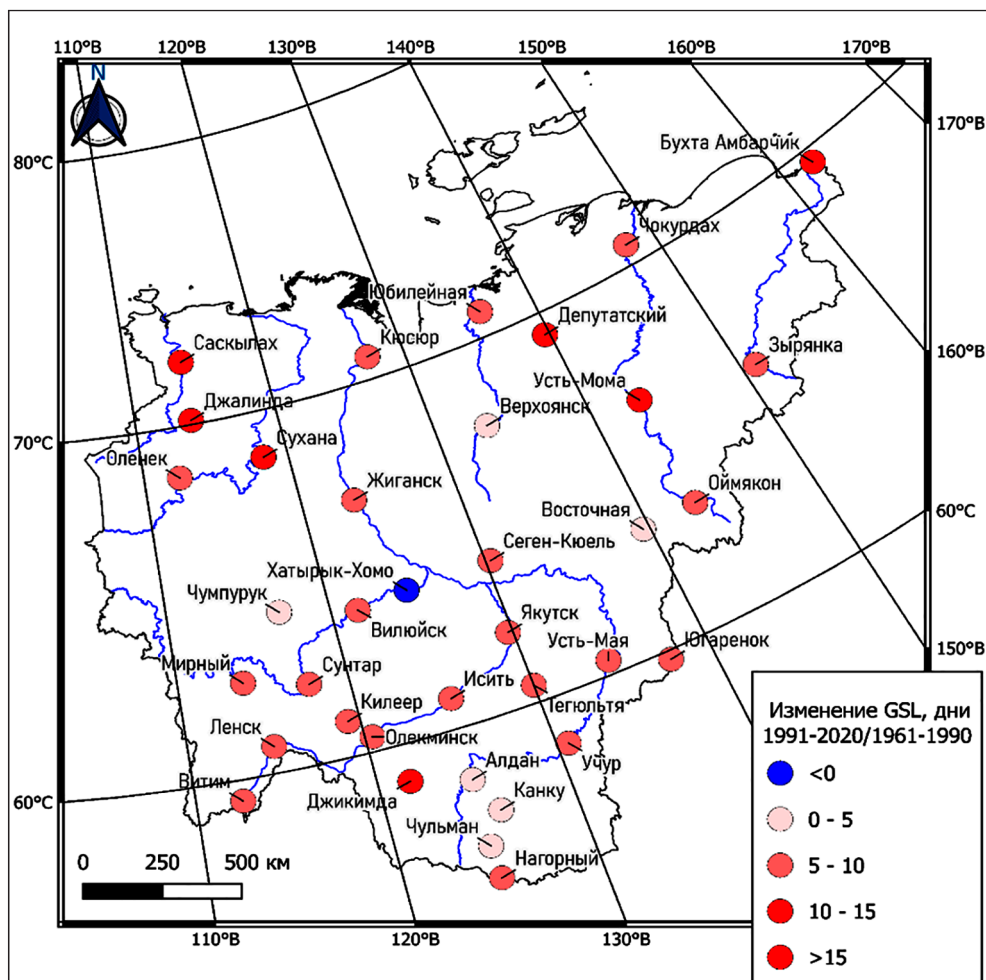


Рис. 1. Пространственное распределение изменений продолжительности вегетационного периода (GSL) на территории Якутии при сопоставлении климатических периодов 1991–2020 гг. и 1961–1990 гг.

На картосхеме точечными маркерами показано расположение метеорологических станций, цвет которых соответствует величине отклонения GSL в днях: синим цветом обозначены локальные зоны сокращения периода (ст. Хатырык-Хомо), оттенками красного – различная интенсивность удлинения вегетационного сезона (от 0 до более чем 15 дней). Гидрографическая сеть и градусная сетка (с шагом 10°) приведены для визуализации ландшафтной и широтно-долготной привязки объектов; в нижней левой части рисунка представлен линейный масштаб в километрах

Визуальный анализ (рис. 2) представленных временных рядов за 1951–2025 гг. подтверждает статистические выводы о преобладании положительных трендов GSL в регионе и выявляет отчетливую пространственную синхронность потепления, выраженную в одновременном подъеме значений индекса с конца 1980-х – начала 1990-х гг., что наиболее заметно в южной и центральной группах станций (Олекминск, Исить, Якутск, Витим). При этом графики отражают существенные различия в межгодовой изменчивости между ландшафтными зонами: для арктических территорий (Чокурдах, Оле-

нек) характерна высокая амплитуда колебаний до 30–40 дней, свидетельствующая о нестабильности термического режима лесотундровых систем, тогда как в районах «полюса холода» (Оймякон, Верхоянск) ряды отличаются большей сбалансированностью при устойчивом росте показателей. Наблюдаемые на графиках пики указывают на частое возникновение аномально длинных вегетационных периодов, выходящих за пределы исторической нормы, в то время как единичные выбросы на станциях со сложным рельефом (Чара, Чульман), вероятно, обусловлены влиянием локальных мезомасштабных атмосферных процессов.

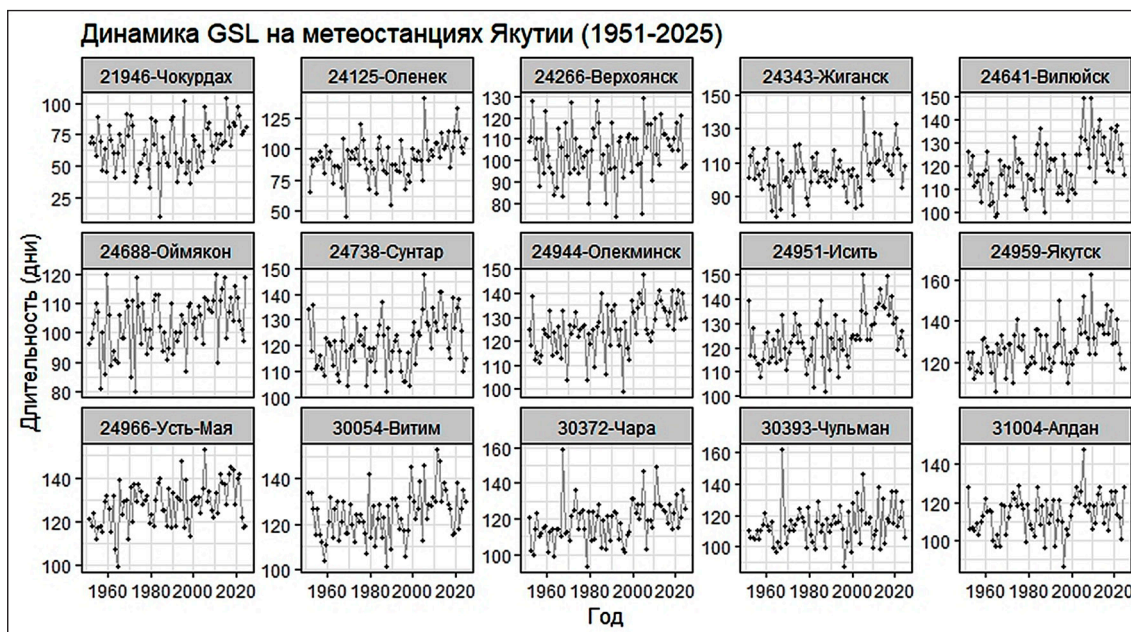


Рис. 2. Многолетняя динамика продолжительности вегетационного периода (GSL) на опорных метеостанциях Якутии за 1951–2025 гг.

Примечание: составлен автором по результатам данного исследования

Таблица 3

Статистические метрики оценки моделей

Модель	r(Пирсон)	rmse	ССС
MIROC-ESM-CHEM	0,66	17,6	0,64
IPSL-CM5A-LR	0,65	18,6	0,62
NorESM1-M	0,68	18,3	0,66
HadGEM2-ES	0,66	18,1	0,62
GFDL-ESM2M	0,70	16,1	0,67

Примечание: составлена автором на основе полученных данных в ходе исследования.

Выявленная пространственно-временная неоднородность динамики GSL определяет масштабную трансформацию структуры физико-географических поясов и ландшафтных зон на территории Якутии. Увеличение продолжительности теплого сезона выступает катализатором ландшафтообразующих процессов в криолитозоне: оно напрямую влияет на глубину сезонного протаивания деятельного слоя вечной мерзлоты, активизацию криогенных процессов и изменение водно-баланса территорий. При планировании адаптационных мероприятий необходимо учитывать динамику биоклиматических показателей, в частности рост продолжительности вегетации, обусловленный изменением ключевых климатических переменных [14]. Сопряженный анализ широтных трендов GSL указывает на потенциальное смещение

границ ландшафтных выделов и трансформацию биогеографических условий – от лесотундровых сообществ на севере до средне-таежных ландшафтов центральных районов. Таким образом, индекс GSL в условиях Северо-Востока России является интегральным индикатором динамического состояния геосистем, определяющим их отклик на глобальные климатические изменения.

У исследуемых климатических моделей, исторический период включается в себя 1951–2010 гг. А начиная с 2011 г. начинаются прогнозные значения по различным сценариям RCP, вплоть до 2099 г. Для верификации данные за исторический период сравнивались с данными 15 метеостанций. Посчитан коэффициент корреляции Пирсона, среднеквадратичной ошибки RMSE и коэффициент конкордации Лина.



Рис. 3. Статистически значимые коэффициенты корреляции Пирсона ($p < 0,05$) между модельными значениями и данными натуральных наблюдений индекса GSL
Примечание: составлен автором по результатам данного исследования

На графике представлены только пары «станция–модель», продемонстрировавшие математически достоверную связь; пустые области соответствуют статистически незначимым результатам. Интенсивность и цвет заливки ячеек отражают величину и направленность корреляции: синяя цветовая гамма соответствует положительной связи, оранжевая – отрицательной. По оси абсцисс указаны наименования климатических моделей, по оси ординат – индексы метеорологических станций; числовые значения внутри ячеек обозначают величину коэффициента корреляции

Статистическая верификация (табл. 3) пяти моделей СМIP6 выявила умеренную степень согласованности модельных данных с результатами натуральных наблюдений. Наилучшую предсказательную способность продемонстрировала модель GFDL-ESM2M характеризующаяся минимальными значениями среднеквадратической ошибки и наиболее высокими коэффициентами конкордации Лина. Например, в работе [15] отмечено, что при верификации климатических реанализов, наиболее значимой метрикой является коэффициент конкордации (согласованности) Лина. Примечательно, что близость значений коэффициентов Пирсона и Лина для всех моделей указывает на отсутствие выраженных систематических смещений в расчетах, что подтверждает применимость данных моделей для описания региональной динамики вегетационного периода, несмотря на сохраняющуюся высокую межгодовую волатильность.

подавляющее большинство ячеек на графике (рис. 3) остались пустыми, что подтверждает гипотезу о неспособности моделей адекватно воспроизводить межгодовую изменчивость вегетационного периода в конкретных географических точках Якутии. Общие удовлетворительные показатели

корреляции по региону, полученные ранее, нивелируются при переходе к мезомасштабному анализу. Модель NorESM1-M показала наибольшее количество значимых связей (Вилюйск 24641, Сунтар 24738, Исеть 24951, Якутск 24959). Примечательно, что корреляция на станции Вилюйск достигает максимума, что выделяет NorESM1-M как наиболее перспективную для локальной адаптации в данных ландшафтных условий.

Проведенная статистическая оценка показала, что высокая степень корреляции между модельными и натурными данными достигается лишь при интегральном расчете по всей совокупности станций региона, что объясняется способностью моделей адекватно воспроизводить общий широтный градиент и пространственную неоднородность климатических условий Якутии. Однако детальный анализ в локальном масштабе выявил, что для каждой метеостанции в отдельности коэффициенты корреляции остаются крайне низкими или статистически незначимыми. Это указывает на неспособность современных глобальных моделей воспроизводить специфическую межгодовую изменчивость дат начала и окончания вегетации в конкретных географических точках, что обусловлено

грубым пространственным разрешением и недостаточным учетом мезомасштабных ландшафтных особенностей.

Заключение

По данным метеостанций наблюдается удлинение GSL между климатическими периодами, и только метеостанция Хатырык-Хомо показала незначительное уменьшение. Это показывает пространственную неоднородность изменения. По критерию Манна – Кендалла у 13 из 15 станций выявлено наличие положительного тренда. В арктической зоне (станции Чокурдах, Саскылах), в пределах типичных тундр и лесотундр, наблюдается наиболее высокая межгодовая вариативность GSL, что свидетельствует о нестабильности энергетического баланса на северном пределе распространения древесной растительности. В то же время в зоне средней и южной тайги (станции Олекминск, Исеть, Якутск) зафиксированы наиболее устойчивые и статистически значимые темпы удлинения вегетации.

Отсутствие значимых связей на большинстве станций при наличии общего положительного тренда GSL подчеркивает, что климатические модели улавливают глобальное потепление как фон, но полностью игнорируют региональные факторы, определяющие конкретные даты начала и окончания вегетации в Якутии.

Список литературы

1. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб.: Научное издание, 2022. 124 с.
2. Шкляев В. А. Долговременные изменения характеристик вегетационных периодов в Предуралье в связи с изменениями климата // Метеорология и гидрология. 2023. № 10. С. 47–56. DOI: 10.52002/0130-2906-2023-10-47-56.
3. Максимова Н. Б. Динамика сроков наступления вегетационного периода по природно-почвенным зонам Алтайского края за 1955–2020 годы // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2023. № 4 (220). С. 110–117. DOI: 10.18522/1026-2237-2023-4-110-117.
4. Стребкова А. С., Карманова М. В., Ненашева Г. И. Характеристика фаз весенне-летнего сезона года на примере территории Алтайского края // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2025. № 4. С. 103–111. DOI: 10.18522/1026-2237-2025-4-103-111.

денций. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2025. № 4. С. 103–111. DOI: 10.18522/1026-2237-2025-4-103-111.

5. Сабарайкина С. М. Анализ температурной обеспеченности вегетационного сезона и динамики фенологического развития *ribes glabellum* в условиях Центральной Якутии // Успехи современного естествознания. 2014. № 12–3. С. 222–224.
6. Горохов А. Н., Федоров А. Н. Современные тенденции климатических изменений в Якутии // География и природные ресурсы. 2018. № 2. С. 111–119. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2018-2(111-119)
7. Tananaev N. I. Regional ensemble of CMIP6 global climate models for Sakha (Yakutia) Republic, Northern Eurasia // Polar Science. 2024. P. 101066. DOI: 10.1016/j.polar.2024.101066.
8. Захаров М. И., Тананаев Н. И. Оценка будущих изменений климатических зон Кёппена-Гейгера в Якутии с использованием регионально-адаптированного ансамбля климатических моделей CMIP6 // ИнтерКарто. ИнтерГИС. М.: Географический факультет МГУ, 2025. Т. 31. Ч. 1. С. 431–444. DOI: 10.35595/2414-9179-2025-1-31-431-444.
9. Носкова Е. В., Вахнина И. Л., Рахманова Н. В. Суммы активных температур воздуха (выше 10°C) на территории Забайкальского края // Успехи современного естествознания. 2019. № 11. С. 148–153. DOI: 10.17513/use.37254.
10. Мезенцева О. В., Кусаинова А. А., Тусупбеков Ж. А. Районирование территории степной зоны северного Казахстана и сопредельной территории России по условиям тепло- и влагообеспеченности // Успехи современного естествознания. 2024. № 4. С. 50–55. DOI: 10.17513/use.38248
11. Варламова Е. В., Соловьев В. С. Особенности пространственно-временной динамики растительного покрова Сибири в условиях арктического усиления потепления климата // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2025. Т. 22 № 5. С. 234–252. DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-5-234-249.
12. Нобахт М., Бивис П., О'Хара С., Хатджес Р., Супит И. Агроклиматические показатели с 1951 по 2099 год, полученные на основе климатических прогнозов. Хранилище климатических данных (CDS) Службы изменения климата Copernicus (C3S). [Электронный ресурс]. URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/sis-agroclimatic-indicators?tab=download> (дата обращения: 20.01.2026). DOI: 10.24381/cds.dad6e055.
13. Автоматизированная информационная система обработки режимной информации. [Электронный ресурс]. URL: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/index1.xhtml> (дата обращения: 10.03.2026).
14. Тананаев Н. И. Климатические аспекты планирования региональных мероприятий по адаптации к изменениям климата // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова. Серия: Науки о Земле. 2025. № 1 (37). С. 85–97. DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-85-97.
15. Тананаев Н. И. Подбор оптимальной модели климатического реанализа по среднегодовой температуре воздуха для территории Республики Саха (Якутия) // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова. Серия «Науки о Земле». 2023. № 2. С. 88–101. DOI: 10.25587/SVFU.2023.30.2.008.

Конфликт интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The author declares that there is no conflict of interest.

Финансирование: Автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.