

Оригинальная статья

Фенологическая устойчивость степных растений в условиях меняющегося климата Центральной Якутии

Н. С. Данилова^{✉,1,2}, С. З. Борисова^{✉✉,2}, Н. Н. Егорова¹, Д. Н. Андросова¹

¹Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация

²Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Российская Федерация

[✉]nad9.5@mail.ru

^{✉✉}borisova_sz@mail.ru

Аннотация

Наблюдаемые в настоящее время изменения климата оказывают значительное влияние на состояние и развитие экосистем. Цель работы – анализ взаимосвязи климатических изменений Центральной Якутии и фенологического развития трех видов степных растений местной природной флоры. Объекты исследования – степные виды *Gagea pauciflora*, *Phlox sibirica*, *Phlomis tuberosa*, принадлежащие к разным ритмологическим группам. В работе использованы материалы многолетних фенологических наблюдений, проведенных по методике И.Н. Бейдеман (1974). Сопряженный анализ многолетних климатических и фенологических данных показал, что меняющийся климат Центральной Якутии вызывает небольшую, но неоднозначную фенологическую реакцию у изученных видов. Наибольшую фенологическую устойчивость в течение 50 лет наблюдений сохраняет эфемероид *Gagea pauciflora* – все смещения в фенологическом развитии вида выше уровня значимости 0,05. Сезонное развитие вида протекает в течение мая и июня и мало зависит от метеоусловий, что свидетельствует об устойчивости вида к температурным перепадам весеннего сезона. Статистически значимые смещения фенодат выявлены только в фазе окончания вегетации у *Phlox sibirica*, *Phlomis tuberosa*. Инерционность фенологической реакции изученных видов на меняющийся климат Центральной Якутии свидетельствует о широком диапазоне адаптации растений к условиям Севера, что дает возможность им противостоять региональным изменениям климата и сохранять фенологическую устойчивость.

Ключевые слова: изменение климата, многолетние фенологические наблюдения, *Gagea pauciflora*, *Phlox sibirica*, *Phlomis tuberosa*, фенофазы, фенологическая реакция, Центральная Якутия, ботанический сад

Финансирование. Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-24-20099 «Фенологическая реакция северных растений на меняющийся климат»).

Для цитирования: Данилова Н.С., Борисова С.З., Егорова Н.Н., Андросова Д.Н. Фенологическая устойчивость степных растений в условиях меняющегося климата Центральной Якутии. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2024;29(4):589–596. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-4-589-596>

Original article

Phenological stability of steppe plants under changing climate conditions in Central Yakutia

Nadezhda S. Danilova^{✉,1,2}, Sargylana Z. Borisova^{✉✉,2},
Nyurguyana N. Egorova¹, Darja N. Androsova¹

¹Institute for Biological Problems of Cryolithozone,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation

²Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation

[✉]nad9.5@mail.ru

^{✉✉}borisova_sz@mail.ru

Abstract

The response of biota to both global and regional climate changes represents a critical topic extensively examined in the scientific literature. This study aims to investigate the correlation between climatic changes in Central Yakutia and

the phenological development of three indigenous steppe plant species. The species under consideration include *Gagea pauciflora*, *Phlox sibirica*, and *Phlomoidea tuberosa*, which belong to different rhythmological groups. The research employed data from long-term phenological observations conducted in accordance with the methodology established by I.N. Beydeman (1974). A comprehensive analysis of the long-term climatic and phenological data reveals that the changing climate in Central Yakutia elicits a modest yet complex phenological response among the studied species. Notably, *Gagea pauciflora*, an ephemeroid, demonstrates the highest degree of phenological stability over a 50-year observation period, with all recorded shifts in its phenological development remaining statistically insignificant at the 0.05 level. The seasonal development of *Gagea pauciflora* occurs primarily in May and June and exhibits minimal sensitivity to meteorological conditions, indicating the species' resilience to spring temperature fluctuations. Statistically significant alterations in phenological timing were noted exclusively during the vegetation termination phase for *Phlox sibirica* and *Phlomoidea tuberosa*. The observed inertia in the phenological responses of these species to the climatic changes in Central Yakutia underscores a diverse array of adaptations among plants to northern environmental conditions, enabling them to resist regional climate shifts and sustain phenological stability.

Keywords: climate change, long-term phenology observations, *Gagea pauciflora*, *Phlox sibirica*, *Phlomoidea tuberosa*, phenophases, phenological reaction, Central Yakutia, Botanical Garden

Funding. This study was supported by the Russian Science Foundation (grant No. RSF 22-24-20099, theme "The phenological reaction of northern plants to the changing climate").

For citation: Danilova N.S., Borisova S.Z., Egorova N.N., Androsova D.N. Phenological stability of steppe plants under changing climate conditions in Central Yakutia. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2024;29(4):589–596. (In Russ.); <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-4-589-596>

Введение

Одна из актуальных проблем, которая широко обсуждается в научной литературе, – глобальные и региональные изменения климата. Наиболее остро реагируют на меняющийся климат растения и животные, и в течение последних десятилетий много публикаций посвящено изучению взаимосвязи фенологии и климата [1–6].

Ботанические сады обладают большим массивом фенологических данных. В Якутском ботаническом саду ИБПК СО РАН в коллекции растений природной флоры фенологический мониторинг растений проводится с 1962 г. Первые фенологические наблюдения выполнены Т.П. Говориной, в дальнейшем работу продолжили Н.С. Данилова, С.З. Борисова, П.А. Павлова, Д.Н. Андросова и О.А. Николаева. За эти годы получен фундаментальный материал, на основании которого можно глубже подойти к пониманию закономерностей адаптации растений Севера к условиям среды. Накопление длительных рядов фенодат по единой методике позволяет выявить ход фенологического развития интродуцентов, динамику, продолжительность, смещение фенофаз каждого конкретного вида растений, что, в конечном счете, даст возможность выявить закономерности реакции разных групп растений на меняющийся климат.

Цель работы – анализ взаимосвязей климатических изменений Центральной Якутии и фенологического развития степных растений местной природной флоры.

Материалы и методы исследований

Исследования проводились в Якутском ботаническом саду ИБПК СО РАН (ЯБС), расположенном на второй надпойменной террасе р. Лена, в 7 км к юго-западу от г. Якутск (Центральная Якутия). Климат района резко-континентальный, зима очень суровая, среднесуточная температура в январе в окр. г. Якутск составляет $-43,2^{\circ}\text{C}$, лето жаркое, среднесуточная температура июля – $18,8^{\circ}\text{C}$, годовая амплитуда температуры воздуха составляет 102°C . По количеству выпадающих осадков Центральная Якутия приравнена к степным и полупустынным районам, за год здесь выпадает около 200 мм [7].

При работе использованы архивные метеорологические данные Якутской гидрометеостанции за период с 1961 по 2021 г. и материалы фенологических наблюдений, проведенных на базе коллекции природной флоры Якутии с 1967 по 2021 г.

Объектами исследований служили три степных вида: *Gagea pauciflora* (Turcz. ex Trautv.) Ledeb. – гусиный лук малоцветковый, выращиваемый в коллекции с 1972 г., *Phlox sibirica* L. – флокс сибирский и *Phlomoidea tuberosa* (L.) Moench. – огневик (зопник) клубненосный с 1968 г. Исходные образцы растений собраны в окр. г. Якутск на степных склонах коренного берега р. Лена.

Фенологические наблюдения проводились ежегодно по методике И.Н. Бейдеман [8] в течение 50–54 лет. Анализировались даты наступления следующих фенологических фаз: весеннее отрастание или начало вегетации растения, начало

цветения – момент перехода вегетативных фаз к генеративным, конец вегетации или осеннее отмирание растений, а также продолжительность префлорального и вегетационного периодов (в днях).

При обработке данных фенологических и метеорологических наблюдений использованы методы статистического анализа с применением пакетов программ MS Excel и Statistica 8.0. Для приведенных в таблицах показателей приняты следующие обозначения: $\bar{M}$ – среднее значение показателя, σ – стандартное отклонение, p – достигнутый уровень значимости. Критический уровень значимости принимался равным 5 %.

Результаты и обсуждение

За 60 лет с 1961 по 2021 г. среднегодовая температура воздуха в г. Якутск заметно повысилась, средний многолетний показатель с 1961 по 1991 г. составил $-9,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, в следующее 30-летие он повысился на $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. При этом повышение температуры произошло за счет потепления зимних и ранневесенних месяцев с ноября по апрель, вклад летних месяцев в изменение климата менее значителен (табл. 1).

За прошедшие 60 лет выявились некоторые изменения в метеоусловиях вегетационного периода. Сдвинулись в более раннюю сторону даты последних весенних заморозков ($p = 0,001$) и в сторону запаздывания – сроки наступления первых осенних заморозков ($p = 0,008$). Продолжительность безморозного периода не изменилась, что обусловлено также статистически незначимым смещением дат перехода средней температуры воздуха через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ весной и осенью. Стабильна и средняя продолжительность фенологической весны (30 ± 10 и 29 ± 8 дней соответственно). Даты устойчивого перехода среднесуточной температуры через 5 и $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ в 1991–2021 гг. сместились на более ранние сроки, с опережением на 6 и 4 дня соответственно ($p = 0,001$ и $p = 0,046$), что внесло свой вклад в удлинение вегетационного сезона на 8 дней ($p = 0,001$). Удлинение вегетационного сезона в 1991–2020 гг. сопровождается статистически значимым повышением сумм температур воздуха выше 0 , 5 и $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($p = 0,001$, $p = 0,001$ и $p = 0,001$). Не отмечено значимых изменений в количестве осадков, выпавших с мая по октябрь за 60 лет исследования, температурно-влажностные условия также весьма стабильны [9].

Степные растения Якутии отличаются высокими приспособительными способностями. М.Н. Ка-

раваев [10] отмечает их широкую экологическую амплитуду и приводит как яркий пример *Phlox sibirica*, произрастающий на всей обширной территории Якутии и входящий в состав разнообразных фитоценозов: степных, луговых, лесных, тундровых. Вид встречается по обнажениям в долинах рек Яны и Индигирки, по долинам горных рек он заходит до предела древесной растительности, где произрастает на песчано-галечниковых наносах. На р. Индигирка растет в гольцовом поясе. Такую широкую амплитуду степных растений можно объяснить сложной историей формирования флоры Якутии. Широкое распространение степные участки получили в плейстоцене между самаровским и зырянским оледенениями, когда происходили неоднократные потепления и похолодания климата, сопровождавшиеся смещением зон растительности [11], и резкие смены климата, которые пережила Якутия в этот период, несомненно, имели влияние на развитие приспособительной структуры степных видов, их экологической пластичности.

Одной из адаптаций степных растений является приспособление ритмов роста и развития

Таблица 1
Средняя месячная
и годовая температура воздуха г. Якутск, $^{\circ}\text{C}$
Table 1
Average monthly and annual air temperatures
in Yakutsk ($^{\circ}\text{C}$)

Месяц	Средняя температура воздуха, °C		Разница показателей за периоды
	Период, годы		
	1961–1990	1991–2021	
Январь/January	–40,9	–37,2	–3,7
Февраль/February	–35,9	–32,9	–3,0
Март/March	–21,6	–19,1	–2,5
Апрель/April	–6,1	–3,8	–2,3
Май/May	6,7	8,1	1,4
Июнь/June	15,4	17,2	1,8
Июль/July	18,7	19,9	1,2
Август/August	14,9	15,7	0,8
Сентябрь/September	5,7	6,4	0,7
Октябрь/October	–8,6	–6,8	–1,8
Ноябрь/November	–29,2	–25,8	–3,4
Декабрь/December	–38,8	–37,0	–1,8
Многолетняя/ Long-term average temperature	–9,9	–7,9	–2,0

растений к природным условиям Якутии. Ответной реакцией на короткий вегетационный сезон явилось ускорение темпов фенологического развития растений. Анализ динамики сезонного развития растений в коллекции местной флоры ЯБС показал, что около 70 % степных видов относятся к весеннецветущим и раннелетнецветущим растениям. Основное условие существования вида во времени – это получение потомства, и поэтому раннее непродолжительное цветение северных растений является гарантией своевременного образования и созревания семян [12]. В свою очередь, раннее цветение растений обеспечивается заблаговременной, с осени, сформированностью зачаточных генеративных побегов, благодаря чему интенсивность развития (или длительность префлорального периода) ранцветущих видов очень высока, так как весной нет необходимости в энергетических затратах на формирование цветка, и период от весеннего отрастания до цветения составляет минимальное количество дней.

Изученные виды принадлежат к разным ритмологическим группам (табл. 2). К ранневесеннецветущим растениям относится эфемероид *Gagea pauciflora*. В природных местообитаниях развитие этих растений начинается с освобождением участка от снега (конец апреля – начало мая) и продолжается до середины июня, длительность вегетации вида 50–60 дней. В условиях культуры вегетация удлиняется до 86–87 дней за счет вторичного отрастания побегов. После окончания вегетации жизненные процессы в подземной части растений не приостанавливаются, в летние месяцы интенсивно идет формирование замещающего побега будущего года. *Phlox sibirica* – весеннецветущее растение, феноритмотип весенне-летне-осеннезеленый. Для этого вида также характерна полная сформированность с осени генеративной сферы побега, что и обуславливает раннее его цветение. *Phlomooides tuberosa* представляет собой раннелетнецветущее весенне-летнезеленое растение. В зиму *P. tuberosa* уходит с частично сформированной генеративной сферой в зачаточном побеге.

Корреляционный анализ многолетних климатических и фенологических данных показал, что фенологическое развитие эфемероида *Gagea pauciflora* мало зависит от метеоусловий, лишь даты его весеннего отрастания и начала цветения связаны со сроками перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °C ($r_s = 0,52$ и $r_s = 0,48$ соответственно), заметных корреляций с други-

ми показателями, в том числе с суммой осадков и гидротермическим коэффициентом (ГТК) не отмечено, что свидетельствует об устойчивости вида к изменчивым условиям весеннего сезона (рис. 1, 2). Одним из качеств эфемероидов А.Н. Хохряков [13] отмечает способность переносить низкие температуры (ниже 0 °C) даже во время цветения. В течение наблюдаемых периодов средние даты наступления и продолжительность основных фенофаз *G. pauciflora* проявляют устойчивость, различия выше уровня значимости 0,05. Небольшие смещения сроков наступления фенофаз у *G. pauciflora* разнонаправленны – начало цветения сдвигается в сторону опережения, средние даты начала и окончания вегетации – в сторону запаздывания. Сократилась продолжительность префлорального периода, изменения в длительности вегетации минимальные – 1 день, что обусловлено коротким циклом надземного развития эфемероидов (см. табл. 2).

У *Phlox sibirica* выявлена умеренная корреляционная связь дат начала вегетации со сроками схода снежного покрова ($r_s = 0,38$), перехода среднесуточной температуры воздуха 5 °C ($r_s = 0,38$) и последнего весеннего заморозка ($r_s = 0,32$). Дата зацветания зависит от даты начала оттепели ($r_s = 0,50$) и сроков перехода среднесуточной температуры воздуха через 5 °C ($r_s = 0,51$) и 10 °C ($r_s = 0,58$), кроме того, выявлена обратная зависимость от сумм температур выше 0, 5 и 10 °C ($r_s = 0,45$, $r_s = 0,47$ и $r_s = 0,40$ соответственно) (см. рис. 1, 2). Что касается сопряженности осенних фенологических и метеорологических показателей, то продолжительность вегетации *P. sibirica* и дата ее окончания положительно коррелируют только с суммой температур выше 0 °C ($r_s = 0,30$). *P. sibirica* – засухоустойчивый вид, не выявлено корреляционных связей сроков наступления основных фенофаз с суммой осадков и ГТК. Средние даты начала вегетации и зацветания *P. sibirica* сохраняют стабильность в течение двух рассматриваемых многолетних периодов, соответственно устойчива и длительность префлорального периода. Достоверное смещение ($p = 0,0287$) на 4 дня в сторону запаздывания по сравнению с предыдущим периодом выявлено в средней дате конца вегетации в 1991–2020 гг., что связано с удлинением вегетационного сезона на 8 дней ($p = 0,001$) и безморозного периода, а также смещением установления снежного покрова в сторону запаздывания.

Весеннее отрастание *Phlomooides tuberosa* отмечено позже, чем у предыдущих видов, – по-

Таблица 2

Средние даты наступления основных фенологических фаз степных видов
в периоды с 1967 по 1990 и с 1991 по 2021 г.

Table 2

The average dates corresponding to the primary phenological phases of steppe vegetation
during the intervals of 1967 to 1990 and 1991 to 2021

Вид	1967–1990 гг.	1991–2021 гг.	U _{эксп}	U _{кр}	p
Средние даты начала вегетации					
<i>Gagea pauciflora</i>	30.04±7	3.05±4	147	125	0,2843
<i>Phlox sibirica</i>	06.05±7	05.05±5	289	216	0,8334
<i>Phlomoidea tuberosa</i>	16.05±7	13.05±6	276	223	0,5253
Средние даты начала цветения					
<i>Gagea pauciflora</i>	20.05±8	18.05±5	105	94	0,1945
<i>Phlox sibirica</i>	05.06±3	04.06±5	185	157	0,3187
<i>Phlomoidea tuberosa</i>	27.06±9	25.06±5	183	178	0,1204
Продолжительность префлорального периода, дни					
<i>Gagea pauciflora</i>	22±2	16±5	114	99	0,4150
<i>Phlox sibirica</i>	29±6	30±6	207	157	0,6577
<i>Phlomoidea tuberosa</i>	44±9	41±6	203	178	0,2701
Средние даты конца вегетации					
<i>Gagea pauciflora</i>	25.06±12	29.06±7	99	90	0,1698
<i>Phlox sibirica</i>	25.09±13	29.09±19	182	207	0,0287
<i>Phlomoidea tuberosa</i>	11.09±14	25.09±18	127	223	0,0004
Продолжительность вегетации, дни					
<i>Gagea pauciflora</i>	86±14	87±8	93	69	0,4895
<i>Phlox sibirica</i>	142±15	147±17	205	207	0,0886
<i>Phlomoidea tuberosa</i>	118±16	133±17	126	223	0,0004

Примечание. М±σ – среднее значение показателя и его стандартное отклонение.

Note. M±σ – average value of the indicator and standard deviation.

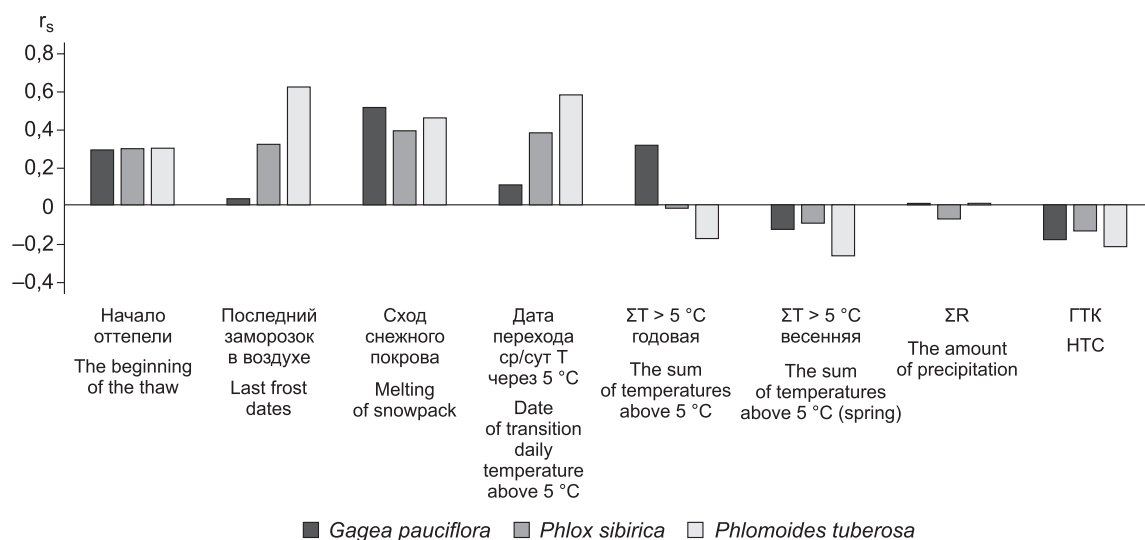


Рис. 1. Корреляция сроков начала вегетации растений с метеопоказателями

Fig. 1. The correlation between the onset of vegetation and meteorological indicators

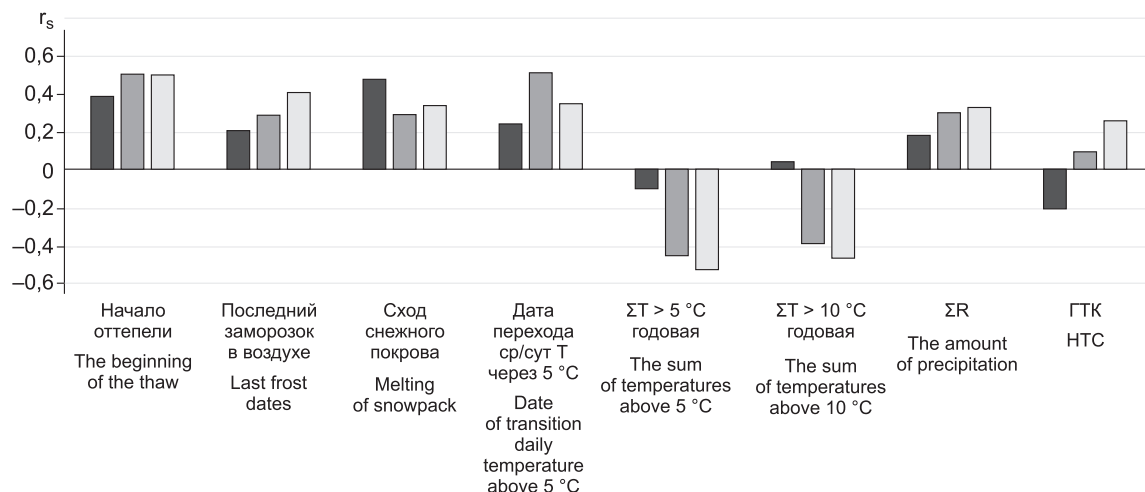


Рис. 2. Корреляция сроков начала цветения растений с метеопоказателями

Fig. 2. The correlation between the onset of flowering and meteorological indicators

сле перехода среднесуточных температур воздуха через 5 °С. По сравнению с ними, у *P. tuberosa* выявлена более заметная корреляционная связь начала вегетации со сроками весенних метеоявлений: с началом оттепели ($r_s = 0,30$), последним весенним заморозком ($r_s = 0,65$), сходом снежного покрова ($r_s = 0,62$), переходом среднесуточной температуры воздуха через 5 °С ($r_s = 0,54$). Даты зацветания также находятся в умеренной зависимости от сроков этих же метеоявлений (см. рис. 1, 2). С изменением климата фенофазы начала вегетации и цветения сдвинулись статистически незначимо на 1–3 дня в сторону опережения по сравнению с предшествующим циклом, стабильной осталась и длительность префлорального периода. Наиболее заметные реакции вида на изменение климата – смещение средней даты окончания вегетации вида на 4 дня в сторону запаздывания ($p = 0,0004$), а также достоверное увеличение продолжительности вегетации вида на 15 дней ($p = 0,0004$). Эти фенологические события являются следствием удлинения вегетационного сезона, сопровождавшегося повышением сумм температур воздуха выше 0, 5 и 10 °С.

Как видно, скорость изменений в фенологическом развитии растений не всегда отвечает изменениям климатическим. Но несмотря на то что фенологические смещения изученных видов за последние десятилетия, в основном, выше уровня значимости и не соответствуют статистически достоверным изменениям агроклиматических явлений – все же это реакция растений на меняющийся климат Центральной Якутии. Она видоспецифична – это проявляется в неодинаковых по длительности фенофазах и направленности смещений дат их наступления. Так, дата весеннего отрастания у *Gagea pauciflora* сдвигается в сторону запаздывания и, наоборот, у *Phlox sibirica* и *Phlomis tuberosa* – в сторону опережения.

Наибольшую фенологическую устойчивость в течение 50 лет наблюдений сохранил эфемероид *Gagea pauciflora*, сезонное развитие которого протекает в течение мая–июня, и все смещения в фенологическом развитии вида выше уровня значимости 0,05. Длительно вегетирующие виды *Phlox sibirica* и *Phlomis tuberosa* также проявляют стабильность в сроках наступления майских и июньских фенофаз – начала вегетации и зацветания. Во многом устойчивость сроков начала цветения изученных степных видов объясняется полностью сформированным к моменту весеннего отрастания замещающим побегом. Цветение – важный этап жизненного цикла растений, от которого зависит их размножение, а в конечном счете, их сохранение. Поэтому можно говорить о широкой норме адаптивности изученных видов к условиям среды во время цветения. Достоверное смещение сроков отмечено только в фенофазе конца вегетации *Phlox sibirica* и *Phlomis tuberosa*, а также в продолжительности вегетации *P. tuberosa*, т. е. фенособытий, сдвиг которых не имеет такого значения для размножения и сохранения вида, как фазы начала вегетации и цветения. Такая же закономерность прослеживается в значениях стандартного отклонения средних дат, размах начала вегетации и начала цветения заметно ниже, даты окончания

вегетации (сентябрь) весьма изменчивы. Последнее говорит о потенциальных возможностях вида использовать положительные стороны изменения климата и, наоборот, избежать неблагоприятных ситуаций.

Заключение

Анализ данных многолетнего мониторинга за сезонным развитием трех видов степных растений (*Gagea pauciflora*, *Phlox sibirica*, *Phlomis tuberosa*) показал инерционность их фенологической реакции на меняющийся климат Центральной Якутии. Это свидетельствует о широком диапазоне адаптации растений к условиям Севера, что дает возможность им противостоять региональным изменениям климата, которые находятся в пределах их толерантности, и сохранять фенологическую устойчивость.

Список литературы / References

1. Минин А.А. *Фенология Русской Равнины: материалы и обобщения*. М.: АБФ/ АБФ; 2000. 160 с.
Minin A.A. *Phenology of the Russian plain: data and generalization*. Moscow: ABF; 2000. 160 p. (In Russ.)
2. Жмылева А.П., Карпухина Е.А., Жмылев П.Ю. Фенологическая реакция лесных растений на потепление климата: рано- и поздноцветущие виды. *Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2011;(2):5–15.
Zhmyleva A.P., Karpukhina E.A., Zhmylev P.Ju. Influence of climate warming on flowering time of early and lately flowering forest plants. *RUDN Journal of Ecology and Life safety*. 2011;(2):5–15. (In Russ.)
3. Root T.L., Price J.T., Hall K.R., et al. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*. 2003;421:57–60. <https://doi.org/10.1038/nature01333>
4. Clark R.M., Thompson R. Predicting the impact of global warming on the timing of spring flowering. *International Journal of Climatology*. 2010;30(11):1599–1613. <https://doi.org/10.1002/joc.2004>
5. Фомин Э.С., Фомина Т.И. Изменение фенологии многолетних растений в Западной Сибири на фоне глобального потепления климата. *Сибирский экологический журнал*. 2021;28(5):543–556. <https://doi.org/10.15372/SEJ20210504>
6. Fomin E.S., Fomina T.I. Changes in the phenology of perennial plants in western siberia against the background of global warming. *Contemporary Problems of Ecology*. 2021;14(5):434–445. <https://doi.org/10.1134/S199542552105005X>
7. Rosbakh S., Hartig F., Sandanov D.V., et al. Siberian plants shift their phenology in response to climate change. *Global Change Biology*. 2021;27(18):4435–4448. <https://doi.org/10.1111/gcb.15744>
8. Гаврилова М.К. *Климат Центральной Якутии*. Якутск; 1973. 119 с.
Gavrilova M.K. *The climate of Central Yakutia*. Yakutsk; 1973. 119 p. (In Russ.)
9. Бейдеман И.Н. Изучение фенологии растений. *Полевая геоботаника*. Т. 2. М., Л.; 1960:333–366.
Beidemann I.N. The study of plant phenology. In: *Field Geobotany. Part 2*. Moscow, Leningrad; 1960:333–366. (In Russ.)
10. Данилова Н.С., Андреева С.Н., Андросова Д.Н. и др. Фенологическая реакция некоторых видов сем. Ranunculaceae на региональные изменения климата в Центральной Якутии. *Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Наука о Земле*. 2023;33(1):32–42. <https://doi.org/10.35634/2412-9518-2023-33-1-32-42>
11. Danilova N.S., Andreeva S.N., Androsova D.N., et al. Phenological response of some species of the family Ranunculaceae to climate change in Central Yakutia. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*. 2023;33(1):32–42. (In Russ.). <https://doi.org/10.35634/2412-9518-2023-33-1-32-42>
12. Караваев М.Н. Краткий анализ флоры степей Центральной Якутии. *Ботанический журнал*. 1945;30(2):62–76.
Karavaev M.N. Brief analysis of the flora of the steppes of Central Yakutia. *Botanical journal*. 1945;30(2):61–76. (In Russ.)
13. Зольников В.Г., Попова А.И. Палеогеографическая схема четвертичного периода равнины Центральной Якутии. В кн.: *Материалы по изучению растительности Якутии. Труды Института биологии ЯФ СО АН СССР. Вып. 3*. М: Изд-во АН СССР, 1957. С. 4–38.
Zol'nikov V.G., Popova A.I. Paleogeographic scheme of the Quaternary of the plain of Central Yakutia. In: *Materials on the study of vegetation in Yakutia. Proceedings of the Institute of Biology YaF Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences. Iss. 3*. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences; 1957, pp. 5–8 (In Russ.)
14. Данилова Н.С. Адаптации травянистых растений Центральной Якутии. *Вестник СВФУ*. 2012;9(2):31–36.
Danilova N. S. Adaptations of herbaceous plants of Central Yakutia. *Vestnik of NEFU*. 2012;9(2):31–36. (In Russ.)
15. Хохряков А.Н. *Соматическая эволюция однодольных*. М., Наука; 1975. 196 с.
Khokhryakov A.N. *Somatic evolution of monocots*. Moscow: Nauka. 1975. 196 p. (In Russ.)

Об авторах

ДАНИЛОВА Надежда Софроновна, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, профессор, <https://orcid.org/0000-0001-6532-7977>, ResearcherID: S-8136-2016, SPIN: 7793-3635, e-mail: nad9.5@mail.ru

БОРИСОВА Саргылана Захаровна, кандидат биологических наук, начальник отдела, доцент, <https://orcid.org/0000-0003-1562-9816>, ResearcherID: A-4953-2014, SPIN: 8650-0224, e-mail: borisova_sz@mail.ru

ЕГОРОВА Нюргюяна Назаровна, кандидат биологических наук, научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0001-6746-7666>, ResearcherID: ADZ-5552-2022, SPIN: 4203-7960, e-mail: nurne@mail.ru

АНДРОСОВА Дария Николаевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник, <http://orcid.org/0000-0003-1521-0556>, ResearcherID: GZK-2378-2022, SPIN: 7355-0928, e-mail: darija_androsova@mail.ru

Вклад авторов

Данилова Н.С. – разработка концепции, проведение исследования, администрирование данных, создание черновика рукописи, редактирование рукописи, получение финансирования; **Борисова С.З.** – проведение исследования, проведение статистического анализа; **Егорова Н.Н.** – проведение статистического анализа, администрирование данных; **Андросова Д.Н.** – проведение исследования, проведение статистического анализа

Конфликт интересов

Один из авторов – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник Данилова Н.С. является заместителем главного редактора журнала «Природные ресурсы Арктики и Субарктики». Авторам неизвестно о каком-либо другом потенциальном конфликте интересов, связанном с этой статьей.

About the authors

DANILOVA, Nadezhda Sofronofna, Dr. Sci. (Biol.), Professor, Chief Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-6532-7977>, ResearcherID: S-8136-2016, SPIN: 7793-3635, e-mail: nad9.5@mail.ru

BORISOVA, Sargylana Zakharovna, Cand. Sci. (Biol.), Assistant Professor, <https://orcid.org/0000-0003-1562-9816>, ResearcherID: A-4953-2014, SPIN: 8650-0224, e-mail: borisova_sz@mail.ru

EGOROVA, Nyurguyana Nazarovna, Cand. Sci. (Biol.), Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-6746-7666>, ResearcherID: ADZ-5552-2022, SPIN: 4203-7960, e-mail: nurne@mail.ru

ANDROSOVA, Darja Nikolaevna, Cand. Sci. (Biol.), Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-1521-0556>, ResearcherID: GZK-2378-2022, SPIN: 7355-0928, e-mail: darija_androsova@mail.ru

Authors' contribution

Danilova N.S. – conceptualization, investigation, data curation, writing – original draft, writing – review & editing, funding acquisition; **Borisova S.Z.** – investigation, formal analysis; **Egorova N.N.** – formal analysis, data curation; **Androsova D.N.** – investigation, formal analysis

Conflict of interest

One of the authors, Danilova N.S., Dr. Sci. (Biol.), Professor, Chief Researcher is the Deputy Editor-in-Chief for the journal “Arctic and Subarctic Natural Resources”. The authors are not aware of any other potential conflict of interest relating to this article.

Поступила в редакцию / Submitted 14.02.2024

Поступила после рецензирования / Revised 25.07.2024

Принята к публикации / Accepted 02.08.2024