БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Экология

УДК 581.543:551.583
https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-2-275-282

Оригинальная статья

Фенологический отклик некоторых видов рода *Allium* на изменения климата в Центральной Якутии

Н. С. Данилова[1,2,✉], С. З. Борисова[2,✉], Н. Н. Егорова[1,2], Д. Н. Андросова[1], С. Н. Андреева[1]

[1]*Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация*
[2]*Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Российская Федерация*

✉*nad9.5@mail.ru, borisova_sz@mail.ru*

Аннотация
В температурном режиме г. Якутск за 1961–2021 гг. отмечен статистически значимый положительный тренд. Потепление климата привело к незначительным фенологическим смещениям в сезонном развитии видов рода *Allium*, различным по размаху, продолжительности и направленности. В результате проведенного статистического анализа не отмечено существенных различий в фенологическом цикле трех видов – *A. schoenoprasum*, *A. senescens* и *A. ramosum*. В условиях меняющегося климата в течение 54 лет эти виды сохранили стабильность сроков прохождения основных фенологических фаз. Наиболее заметная фенологическая реакция на изменения климата отмечена у *A. prostratum* и *A. splendens*, которые реагируют статистически значимыми смещениями сроков начала цветения (*A. prostratum*, $p = 0{,}0009$), конца вегетации (*A. splendens*, $p = 0{,}0137$), продолжительностью префлорального периода (*A. prostratum*, $p = 0{,}0162$) и периода вегетации (*A. splendens*, $p = 0{,}0298$). Небольшое смещение сроков наступления основных фенологических фаз у пяти видов рода *Allium* за 54 года дает основание говорить об инерционности фенологического отклика растений на изменения климата.
Ключевые слова: Alliaceae, *Allium*, изменение климата, температура воздуха, сумма осадков, многолетние фенологические наблюдения, фенологическая реакция, Центральная Якутия
Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-24-20099).
Благодарности. В работе использованы архивные материалы Якутского ботанического сада Института биологических проблем криолитозоны СО РАН.
Для цитирования: Данилова Н.С., Борисова С.З., Егорова Н.Н., Андросова Д.Н., Андреева С.Н. Фенологический отклик некоторых видов рода *Allium* на изменения климата в Центральной Якутии. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2023;28(2):275–282. https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-2-275-282

Original article

Phenological response of some species of the genus *Allium* to climate change in Central Yakutia

N. S. Danilova[1,2,✉], S. Z. Borisova[2,✉], N. N. Egorova[1,2], D. N. Androsova[1], S. N. Andreeva[1]

[1]*Institute for Biological Problems of Cryolithozone, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation*
[2]*Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation*

✉*nad9.5@mail.ru, borisova_sz@mail.ru*

Abstract
The temperature regime showed a statistically significant positive trend in Yakutsk during the period 1961–2021. Thus, climate warming in the region has led to minor phenological shifts in the seasonal development of the *Allium*

© Данилова Н. С., Борисова С. З., Егорова Н. Н., Андросова Д. Н., Андреева С. Н., 2023

species, which differ in amplitude, duration, and direction. However, statistical analysis did not show significant differences in the phenological cycles of *A. schoenoprasum, A. senescens,* and *A. ramosum*. In a climate that has been changing for 54 years, these species have retained stability in the timing of their main phenological phases. The most noticeable phenological response to climate change was noted in two species – *A. prostratum, A. splendens*, that respond with statistically significant shifts in the beginning of flowering period (*A. prostratum, p* = 0,0009), the end of vegetative period (*A. splendens*, *p* = 0,0137), duration of prefloral period (*A. prostratum*, *p* = 0,0162) and duration of vegetative period (*A. splendens*, *p* = 0,0298). We conclude that a slight shift in the timing of the main phenological phases in the five species of the genus *Allium* over 54 years suggests the inertia of the phenological response of the plants to climate change.

Keywords: Alliaceae, *Allium*, climate change, air temperature, total precipitation, long-term phenological observations, phenological reaction, Central Yakutia

Funding. This study was supported by the Russian Science Foundation (grant number RSF 22-24-20099.).

Acknowledgements. We used archival materials from the Yakutsk Botanical Garden of the Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS.

For citation: Danilova N.S., Borisova S.Z., Egorova N.N., Androsova D.N., Andreeva S.N. Phenological response of some species of the genus *Allium* to climate change in Central Yakutia. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2023;28(2):275–282. (In Russ.); https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-2-275-282

Введение

Процесс изменения климата в различных частях земного шара имеет свои особенности. Согласно «Докладу об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 год» [1], в Северном полушарии эти изменения проявляются наиболее заметно, скорость современного роста осредненной по России среднегодовой температуры за 10 лет составляет 0,49 °С, что более чем в 2,5 раза выше скорости роста глобальной средней температуры.

Одними из наиболее чувствительных индикаторов изменений внешней среды являются растения. Изменения климата оказывают влияние на их фенологическое развитие, происходят сдвиги наступления отдельных фенофаз в сторону опережения или запаздывания обычных сроков [2–6]. В живом мире все процессы обусловлены и связаны друг с другом, и фенологические изменения могут привести к нарушению заведенного порядка вещей. Так, например, может возникнуть ситуация несоответствия событий в сезонном развитии живых организмов, что повлечет за собой нарушение консортивных связей растений и животных [7]. Изменение климата несет с собой достаточно негативные последствия – не все виды могут приспособиться к новым условиям, что приводит к снижению видового разнообразия [8], инвазионным процессам, проникновению чужеродных видов в природные ценозы [9].

Цель работы – анализ фенологической реакции пяти видов рода *Allium* природной флоры Якутии (*A. prostratum*, *A. schoenoprasum*, *A. senescens*, *A. splendens*, *A. ramosum*) на меняющийся климат.

Методы и материалы

Исследования проводились на базе коллекции природной флоры Якутии Ботанического сада ИБПК СО РАН, расположенного на II надпойменной террасе р. Лена, в 7 км к юго-западу от г. Якутск. Климат района резко-континентальный, характеризуется низкими зимними и высокими летними температурами воздуха (годовая амплитуда составляет 102 °С), а также засушливостью [10].

Материалом для анализа климатических показателей служили данные гидрометеостанции г. Якутск за 1961–2021 гг.

Сравнительный анализ метеоусловий фенологических сезонов 1961–2020 гг. проводили по следующим датам: начало оттепели, наступление последнего весеннего и первого осеннего заморозков, устойчивый переход среднесуточных температур воздуха через 0, 5 и 10 °С, продолжительность периодов с температурами выше 0, 5 и 10 °С, сумма температур для каждого фенологического сезона, сумма осадков, гидротермический коэффициент (ГТК) по Селянинову. Даты устойчивого перехода температур воздуха через 0, 5 и 10 °С определены по единой методике агрометеорологических станций и постов [11].

Объектами исследований служили пять видов рода *Allium* – Луки. *A. prostratum* – л. стелющийся, в коллекции с 1966 г., *A. ramosum* – л. ветвистый, с 1974 г., *A. schoenoprasum* – л. скорода, с 1967 г., *A. senescens* – л. стареющийся, с 1974 г., *A. splendens* – л. блестящий, с 1967 г. Фенологические наблюдения проводились по методике И.Н. Бейдеман [12] в течение 45–54 лет.

При обработке данных фенологических и метеорологических наблюдений использованы сле-

дующие методы статистического анализа с применением пакетов программ MS Excel и Statistica 8.0: проверка нормальности распределения переменных при помощи критерия Колмогорова–Смирнова с поправкой Лиллиефорса и критерия Шапиро–Уилка, проверка равенства средних двух независимых выборок с помощью t-критерия Стьюдента и критерия U Манна–Уитни, линейный регрессионный анализ, ранговый корреляционный анализ. Для приведенных в таблицах показателей приняты следующие обозначения: M – среднее значение показателя, σ – стандартное отклонение, *p* – достигнутый уровень значимости. Критический уровень значимости принимался равным 5 %.

Результаты и обсуждение

Температура воздуха является одной из основных характеристик климата. За 60 лет наблюдений с 1961 по 2021 г. среднегодовая температура воздуха в г. Якутск существенно менялась (табл. 1). Если в первые 30 лет наблюдений средняя годовая температура воздуха и средняя месячная температура ноября–февраля были близки к норме, то, начиная с 1986–1990 гг. и далее, наметилась тенденция к потеплению, когда среднегодовая температура повысилась на 1,2 °С по сравнению со средними многолетними значениями (см. табл. 1). Как известно, с наступлением 21-го века отмечена пауза в глобальном потеплении [13]. Но эта «приостановка» роста средней глобальной приземной температуры в показателях г. Якутск не проявилась, наоборот, наблюдалось устойчивое ее повышение, среднегодовое значение температуры за 30 лет с 1991 по 2020 г. повысилось по сравнению с предыдущим циклом на 2 °С и составило –7,9 °С. Среднегодовая температура достигла своего максимума –6,9 °С в 2016–2021 гг., превышение над средними многолетними данными в эти годы составило +3,4 °С. При этом

Таблица 1

Средняя месячная и годовая температуры воздуха г. Якутск, °С

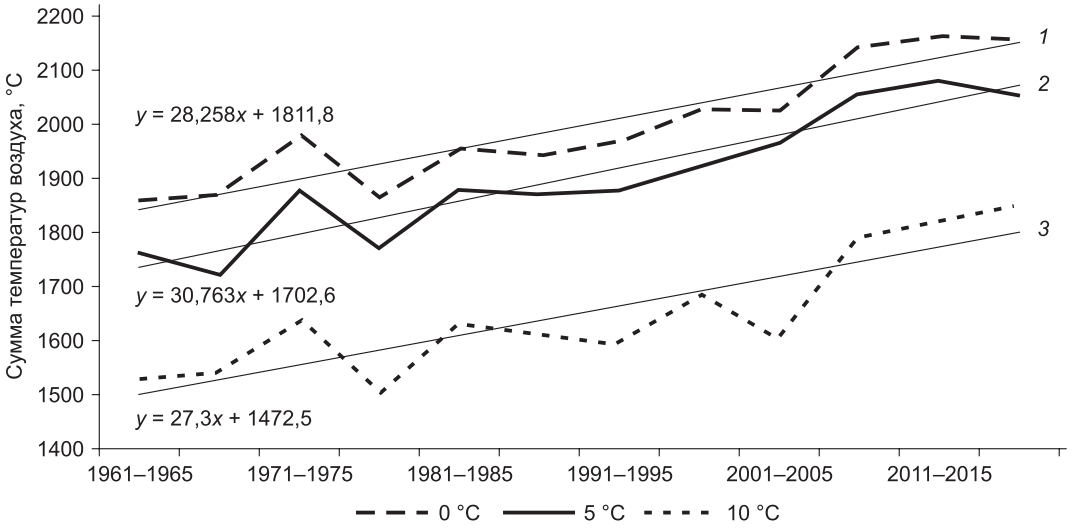
Table 1

Average monthly and annual air temperature in Yakutsk, °C

Период Period	Месяц Month												Год Year
	I	II	II	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1961–1965	–39,4	–34,8	–22,6	–7,9	4,9	14,8	18,9	15,7	5,8	–8,2	–27,9	–39,7	–10,0
1966–1970	–42,4	–38,1	–22,6	–6,1	6,1	15,3	18,8	14,7	5,1	–8,2	–30,4	–40,7	–10,7
1971–1975	–40,9	–37,4	–21,3	–5,9	8,2	15,7	19,1	14,5	6,4	–7,5	–30,1	–38,8	–9,8
1976–1980	–41,1	–36,4	–23,3	–5,3	6,6	15,3	17,8	15,2	4,9	–10,1	–29,7	–38,1	–10,3
1981–1985	–40,0	–35,3	–21,6	–4,9	7,9	15,1	18,9	14,5	6,2	–10,3	–28,8	–38,8	–9,8
1986–1990	–41,8	–33,5	–18,1	–6,2	6,6	16,2	18,9	15,2	5,5	–7,4	–28,3	–36,7	–9,1
1991–1995	–36,9	–32,4	–21,4	–5,8	7,2	15,9	19,0	15,1	6,1	–6,1	–28,0	–37,1	–8,7
1996–2000	–37,0	–32,2	–22,2	–4,4	7,3	17,1	19,9	15,3	5,5	–8,3	–27,5	–38,6	–8,8
2001–2005	–38,6	–34,4	–18,8	–3,9	7,2	16,0	20,4	15,2	6,8	–8,6	–23,8	–37,9	–8,4
2006–2010	–37,1	–34,7	–18,4	–3,8	8,7	17,9	19,7	16,1	6,6	–6,0	–25,8	–36,2	–7,8
2011–2015	–37,3	–32,3	–18,0	–2,9	9,3	17,2	20,5	16,2	5,8	–6,6	–25,9	–34,9	–7,4
2016–2021	–36,4	–31,7	–16,4	–2,1	8,6	18,4	19,9	15,9	7,3	–5,4	–23,9	–37,1	–6,9
1961–1990	–40,9	–35,9	–21,6	–6,1	6,7	15,4	18,7	14,9	5,7	–8,6	–29,2	–38,8	–9,9
1991–2021	–37,2	–32,9	–19,1	–3,8	8,1	17,2	19,9	15,7	6,4	–6,8	–25,8	–37,0	–7,9
1961–2021	–39	–34,4	–20,3	–4,9	7,4	16,3	19,3	15,3	6	–7,7	–27,5	–37,9	–8,9
*Средняя многолетняя *Long–term	–43.2	–35,9	–22,2	–7,4	5,7	15,4	18,7	14,8	6,2	–7,9	–28,0	–39,8	–10,3

* По М.Г. Гавриловой [10].

* According to M.G. Gavrilova [10].



Сумма температур воздуха выше 0 (*1*), +5 (*2*), +10 °С (*3*) за 1961–2021 гг. (пятилетние средние значения и их линейный тренд)

The sum of air temperatures above 0 (*1*), +5 (*2*), +10 °С (*3*) for 1961–2021 (5 year averages and their linear trend)

основной вклад в это внесло повышение температур за холодную часть года, степень потепления за зимние месяцы намного превосходит таковую за летние (см. табл. 1).

Поскольку наши исследования связаны с растениями, с их фенологическим развитием, основной интерес для ботанического изучения представляют погодные условия безморозного периода.

В температурном режиме теплой части года за 60 лет наблюдений отмечен статистически значимый положительный тренд. Средняя температура воздуха безморозного периода повысилась на 1,4, вегетационного – 0,9 и летнего сезона – 1,2 °С. Такой же положительный тренд отмечается в изменении суммы температуры воздуха за теплый период и периоды с температурой воздуха выше 5 и 10 °С (см. рисунок).

Средняя сумма осадков, выпавших за теплый период (май–октябрь) с 1961 по 2021 г., существенно не изменилась, отмечено небольшое увеличение среднегодовых значений суммы осадков теплого времени года на 7,1 мм. На этом фоне не выявлено тенденции к повышению гидротермического коэффициента, среднемесячный показатель которого за исследуемые годы варьирует в пределах 0,4–0,8. Положительный эффект небольшого увеличения количества осадков снижается интенсивным повышением температуры воздуха.

Сравнивая два агрометеорологических показателя периодов 1961–1990 и 1991–2021 гг., можно отметить более ранние сроки прекращения весенних заморозков (p = 0,001) и более поздние сроки наступления осенних заморозков (p = 0,008). Увеличилась продолжительность вегетационного периода на 8 дней (p = 0,001), что обусловлено, в основном, статистически значимым сдвигом даты его начала на 6 дней в сторону опережения (p = 0,001). Так же достоверно раньше в последнее 30-летие отмечается наступление лета – переход среднесуточной температуры через 10 °С (p = 0,046). Удлинение вегетационного сезона сопровождается статистически значимым увеличением сумм температур воздуха выше 0 (p = 0,000), 5 (p = 0,000) и 10 °С (p = 0,001) (см. рисунок).

В течение 60 лет почти в одни и те же сроки отмечены начало весны и начало осени, остаются постоянными средняя длительность безморозного периода и продолжительность фенологических сезонов, стабильны сумма осадков, выпадающих за безморозный период, и среднее значение ГТК.

Объекты исследования, виды рода *Allium* – луковичные геофиты *Allium prostratum, A. ramosum, A. schoenoprasum, A. senescens* и *A. splendens,* летнецветущие виды, массовое цветение которых отмечается в первой половине июля. Все виды выращиваются в коллекции Якутского ботанического сада, ежегодно проходят полный цикл фенологического развития с образованием полноценных семян, способны к семенному самовозобновлению. Высокоустойчивы в культуре.

Весеннее отрастание луков отмечается в первой половине мая. Наиболее раннее отрастание наблюдается у *A. prostratum*, последним начинает вегетацию *A. ramosum.* У этих двух видов средние сроки весеннего отрастания в течение двух исследуемых периодов наблюдений не претерпели изменений. У остальных трех видов дата начала вегетации сместилась статистически незначимо в сторону опережения или запаздывания от 1 до 2 дней. При этом изучение взаимосвязей весеннего отрастания видов с агрометеоусловиями показало положительную зависимость сроков начала фенологического развития видов от даты последнего заморозка (*A. splendens,* $r_s = 0{,}65$). Также у всех изученных видов отмечена высокая корреляционная связь даты начала весеннего отрастания с временем перехода среднесуточной температуры через 0 и 5 °С (*A. splendens,* $r_s = 0{,}62$ и $r_s = 0{,}54$ соответственно, *A. schoenoprasum,* $r_s = 0{,}59$ и $r_s = 0{,}39$ соответственно). Не выявлено взаимосвязей начала весеннего отрастания видов с количеством выпавших осадков (табл. 2).

Даты начала цветения видов изменились неоднозначно. Средние сроки зацветания *A. ramosum* за наблюдаемый период не претерпели никаких изменений, сроки начала цветения *A. senescens* и *A. schoenoprasum* также практически не изменились за наблюдаемый период, о чем говорит статистически незначимое смещение дат на 2 дня в сторону запаздывания. Но два вида – *A. prostratum* и *A. splendens*, средние даты начала цветения которых в период с 1967–1990 гг. были одинаковыми, в последующий период реагируют на изменение климата различным образом. Сроки начала цветения *A. prostratum* статистически значимо сдвинулись на 10 дней в сторону запаздывания ($p = 0{,}0009$), а зацветание *A. splendens* во втором 30-летии, наоборот, сместились на ранние сроки, опережение составило 7 дней ($p = 0{,}0340$).

Даты начала цветения всех видов коррелируют на среднем и высоком уровне с датами схода снежного покрова (*A. ramosum*, $r_s = 0{,}23$; *A. splendens*, $r_s = 0{,}46$), зацветание лесного вида *A. splendens* и лугового *A. schoenoprasum* коррелируют на среднем уровне со временем перехода среднесуточных температур через 5 °С ($r_s = 0{,}27$ и $r_s = 0{,}30$ соответственно). Высокая отрицательная связь с суммами температур выше 5 и 10 °С (от $r_s = -0{,}58$ до $r_s = -0{,}67$) характерна для всех пяти видов. Взаимосвязь даты начала цветения с суммой выпавших осадков – на среднем уровне (*A. schoenoprasum,* $r_s = 0{,}28$).

Сроки конца вегетации статистически значимо сдвинулись только у *A. splendens*, у остальных четырех видов эта фенологическая фаза также сместилась на более поздние сроки, но эти значения недостоверны. Заметных корреляционных связей даты конца вегетации с метеоусловиями не обнаружено.

Неоднозначны изменения в продолжительности префлорального периода у разных видов. У *A. prostratum* и *A. senescens* с изменением климата этот период удлиняется, у *A. schoenoprasum* и *A. splendens* сокращается, у *A. ramosum* он остается стабильным.

Что касается длительности вегетации, то в течение 1990–2020 гг. луки вегетируют продолжительней, чем в предыдущий период, в меньшей степени – *A. schoenoprasum*, в большей – *A. splendens.* Хотя удлинение вегетации статистически достоверно только у одного вида *A. splendens*, это наиболее заметная реакция растений на потепление климата. При этих, большей частью нечастых и небольших усредненных смещениях за большой промежуток времени, даты наступления фенологических фаз растений в разные годы сильно варьируют и тесно связаны с метеорологическими условиями текущих сезонов. Разнонаправленные и неравные смещения сроков наступления основных фенофаз в сторону как опережения, так и запаздывания, обеспечивают стабильность их средних дат, а также продолжительность как префлорального периода, так и вегетации в целом, что свидетельствует об устойчивости ритмологической адаптации вида к условиям Севера.

Выводы

1. Повышение среднегодовых температур воздуха на территории г. Якутск за последние 60 лет – проявление меняющегося климата, которому сопутствует изменение ряда агрометеопоказателей: более ранние сроки прекращения весенних заморозков ($p = 0{,}001$) и более поздние сроки наступления осенних заморозков ($p = 0{,}008$), увеличение продолжительности вегетационного периода на 8 дней ($p = 0{,}001$), сдвиг в сторону опережения перехода среднесуточной температуры воздуха через 5 °С ($p = 0{,}001$) и 10 °С ($p = 0{,}046$). Удлинение вегетационного сезона сопровождается статистически значимым увеличением сумм температур воздуха выше 0 ($p = 0{,}000$), 5 ($p = 0{,}000$) и 10 °С ($p = 0{,}001$).

Таблица 2

Средние сроки феноразвития видов рода *Allium* в периоды 1967–1990 и 1991–2020 гг.

Table 2

Seasonal development of *Allium* species in 1967–1990 and 1991–2020

Вид Species	1967–1990 M±σ	1991–2020 M±σ	$U_{эксп}$	$U_{кр}$	*p*
Начало вегетации Beginning of vegetative period					
Allium prostratum	04.05±8	04.05±4	257	187	0,9030
Allium ramosum	16.05±8	16.05±5	125	79	1,0000
Allium schoenoprasum	6.05±7	7.05±5	268	234	0,3067
Allium senescens	08.05±6	06.05±4	188	156	0,3732
Allium splendens	09.05±9	07.05±4	138	100	0,6066
Начало цветения Beginning of flowering period					
Allium prostratum	04.07±10	14.07±8	134	217	**0,0009**
Allium ramosum	10.07±7	10.07±4	129	89	0,7704
Allium schoenoprasum	21.06±5	19.06±5	245	234	0,1424
Allium senescens	09.07±8	11.07±6	182	150	0,3929
Allium splendens	04.07±9	28.06±4	89	103	**0,0340**
Конец вегетации End of vegetative period					
Allium prostratum	23.09±12	29.09±9	206	217	0,0615
Allium ramosum	13.09±23	23.09±16	105	89	0,2571
Allium schoenoprasum	23.08±11	28.08±8	223	207	0,1798
Allium senescens	20.09±19	29.09±9	167	174	0,1643
Allium splendens	15.09±15	27.09±11	81	107	**0,0137**
Продолжительность префлорального периода, дни Duration of prefloral period, days					
Allium prostratum	62±15	70±9	154	187	0,0162
Allium ramosum	55±10	55±5	117	79	0,7702
Allium schoenoprasum	46±8	42±7	240	234	0,1206
Allium senescens	62±10	66±7	155	150	0,1223
Allium splendens	56±10	51±5	102	93	0,1731
Продолжительность вегетации, дни Duration of vegetative period, days					
Allium prostratum	141±14	148±10	179	187	0,0640
Allium ramosum	120±27	130±17	107	79	0,5228
Allium schoenoprasum	110±14	112±9	260	207	0,5634
Allium senescens	135±19	147±10	151	156	0,0749
Allium splendens	129±22	143±12	81	96	**0,0298**

Примечание. M±σ – среднее значение показателя и его стандартное отклонение. При $U_{кр} > U_{эксп}$ различия между показателями статистически значимы. Жирным шрифтом обозначены статистически значимые различия, при $p < 0,05$.

Note. M±σ – average value of the indicator and standard deviation. At $U_{кр} > U_{эксп}$ the differences between the indicators are considered statistically significant. Statistical significance is indicated in bold font, $p < 0.05$.

2. Потепление климата привело к незначительным фенологическим смещениям в сезонном развитии растений, различным по размаху, продолжительности и направленности, большей частью статистически незначимым.

3. Не замечено существенных различий в фенологическом цикле *A. schoenoprasum, A. senescens* и *A. ramosum*, в условиях меняющегося климата эти виды сохранили стабильность сроков прохождения основных фенологических фаз.

4. Наиболее заметная фенологическая реакция на изменения климата отмечена у двух видов – *A. prostratum*, *A. splendens*, которые реагируют статистически значимыми смещениями сроков начала цветения (*A. prostratum, p* = 0,0009), конца вегетации (*A. splendens*, *p* = 0,0137), продолжительностью префлорального периода (*A. prostratum*, *p* = 0,0162) и периода вегетации (*A. splendens*, *p* = 0,0298).

5. Небольшие усредненные смещения (большей частью статистически незначимые) в фенологическом развитии растений за большой промежуток времени сопровождаются высокой изменчивостью дат наступления фенологических фаз растений в разные годы и тесно связаны с метеорологическими условиями текущих сезонов. Разнонаправленные и неравные смещения сроков наступления основных его фенофаз как в сторону опережения, так и запаздывания обеспечивают стабильность их средних дат, а также продолжительность как префлорального периода, так и вегетации в целом, что свидетельствует об устойчивости ритмологической адаптации вида к условиям Севера.

6. Небольшие смещения средних фенодат пяти видов рода *Allium* за 45–54 лет дают основание говорить об инерционности их фенологического отклика на изменения климата.

Список литературы / References

1. *Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 год*. М.; 2022. 104 с.

A report on climate features on the territory of the Russian Federation in 2021. Moscow; 2022. 104 p. (In Russ.).

2. Root T., Price J., Hall K. et al. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*. 2003;421: 57–60. https://doi.org/10.1038/nature01333

3. 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

4. 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.Yu. Influence of climate warmening on flowering time of early and lately flowering forest plants. *RUDN Journal of Ecology and Life safety*. 2011;(2):5–15 (In Russ.).

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

Fomin E.S., Fomina T.I. Changes in the phenology of perennial plants in Western Siberia against the background of global climate warming. *Contemporary Problems of Ecology*. 2021;28(5):543–556. (In Russ.). https://doi.org/10.15372/SEJ20210504

6. Rosbakh S., Hartig F., Sandanov D.V., Bukharova E.V., Miller T.K., Primack R.B. 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

7. Bertin R.I. Plant phenology and distribution in relation to recent climate change *Journal of the Torrey Botanical Society*. 2008;135(1):126–146. https://doi.org/10.3159/07-RP-035R.1

8. Санданов Д.В., Liu Y., Wang Z., Королюк А.Ю. Древесные и травянистые растения Внутренней Азии: видовое богатство и эколого-географические особенности. *Сибирский экологический журнал*. 2020;27(4): 450–462. https://doi.org/10.15372/SEJ20200404

Sandanov D.V., Liu Y., Wang Z., Korolyuk A.Yu. Woody and herbaceous plants of Inner Asia: species richness and ecogeorgraphic patterns. *Contemporary Problems of Ecology*. 2020;27(4):450–462. (In Russ.). https://doi.org/10.15372/SEJ20200404

9. Шефтель Б.И., Якушов В.Д. Влияние потепления климата на наземные виды средней енисейской тайги. *Сибирский экологический журнал*. 2022;29(1): 1–12. https://doi.org/10.15372/SEJ20220101

Sheftel B.I., Yakushov V.D. Influence of climate warming on terrestrial species of the middle Yenisei taiga. *Contemporary Problems of Ecology*. 2022;29(1):1–12. (In Russ.). https://doi.org/10.15372/SEJ20220101

10. Гаврилова М.К. *Климат Центральной Якутии*. 1973; Якутск. 119 с.

Gavrilova M.K. *The climate of Central Yakutia.* Yakutsk; 1973. 119 p. (In Russ.)

11. *Наставление гидрометеорологическим станциям и постам*. Вып.11. Агрометеорологические наблюдения на станциях и постах. Часть 1, кн. 2. Основные агрометеорологические наблюдения. М.; 2000. 284 с.

Instruction to hydrometeorological stations and posts. Issue 11. Agrometeorological observations at stations and posts. Part 1, book 2. Basic agrometeorological observations. Moscow; 2000. 284 p. (In Russ.)

12. 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.)

13. England M., McGregor S., Spence P. et al. Recent intensification of wind-driven circulation in the Pacific and the ongoing warming hiatus. *Nature Climate Change*. 2014;4(2):222–227. https://doi.org/10.1038/nclimate2106

Об авторах

ДАНИЛОВА Надежда Софроновна, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, https://orcid.org/0000-0001-6532-7977, ResearcherID: S-8136-2016, Scopus AuthorID: 144580, e-mail: nad9.5@mail.ru

БОРИСОВА Саргылана Захаровна, кандидат биологических наук, доцент, начальник отдела, https://orcid.org/0000-0003-1562-9816, ResearcherID: A-4953-2014, Scopus AuthorID: 144581, e-mail: borisova_sz@mail.ru

ЕГОРОВА Нюргуяна Назаровна, кандидат биологических наук, научный сотрудник, https://orcid.org/0000-0001-6746-7666, ResearcherID: ADZ-5552-2022, Scopus AuthorID: 726965, e-mail: nurne@mail.ru

АНДРОСОВА Дария Николаевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник, https://orcid.org/0000-0003-1521-0556, ResearcherID: GZK-2378-2022, Scopus AuthorID: 785152, e-mail: darija_androsova@mail.ru

АНДРЕЕВА Сахая Николаевна, младший научный сотрудник, https://orcid.org/0000-0002-5003-8037, ResearcherID: GZG-8254-2022, Scopus AuthorID: 682968, e-mail: Sandren_1601@mail.ru

About the authors

DANILOVA, Nadezhda Sofronofna, Dr. Sci (Biol.), Professor, Chief Researcher, https://orcid.org/0000-0001-6532-7977, ResearcherID: S-8136-2016, Scopus AuthorID: 144580, 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, Scopus AuthorID: 144581, e-mail: borisova_sz@mail.ru

EGOROVA, Nyurguyana Nazarovna, Cand. Sci. (Biol.), Researcher, https://orcid.org/0000-0001-6746-7666, ResearcherID: ADZ-5552-2022, Scopus AuthorID: 726965, e-mail: nurne@mail.ru

ANDROSOVA, Darja Nikolaevna, Cand. Sci. (Biol.), Researcher, https://orcid.org/0000-0003-1521-0556, ResearcherID: GZK-2378-2022, Scopus AuthorID: 785152, e-mail: darija_androsova@mail.ru

ANDREEVA, Sakhaya Nikolaevna, Junior Researcher, https://orcid.org/0000-0002-5003-8037, ResearcherID: GZG-8254-2022, Scopus AuthorID: 682968, e-mail: Sandren_1601@mail.ru

Поступила в редакцию / Submitted 12.01.2023
Поступила после рецензирования / Revised 02.03.2023
Принята к публикации / Accepted 30.03.2023