

Научная статья
УДК 58.01/.07
doi: 10.17223/19988591/64/9

Влияние изменений климата на реакцию растений-интродуцентов в условиях юга Сибири

Надежда Сергеевна Зиннер¹, Анна Николаевна Некратова²,
Кристина Викторовна Тюлькевич³, Любовь Викторовна Буглова⁴

^{1, 2, 3} Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Томск, Россия

⁴ Центральный Сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, Россия

¹ <https://orcid.org/0000-0003-0363-0684>, zinner@inbox.ru

² <https://orcid.org/0000-0003-3087-6313>, aqulegia@gmail.com

³ <https://orcid.org/0009-0002-4531-0339>, kristinatulkevic6@gmail.com

⁴ <https://orcid.org/0000-0002-9978-1569>, astro11@rambler.ru

Аннотация. Приведена статистически значимая оценка фенологических реакций многолетних лекарственных растений в условиях юга Томской области, скоординированная с показателями среднесуточных и среднемесячных температур. Фенологические реакции многолетних лекарственных растений были изучены с использованием стандартных методик наземных наблюдений в период с 1972 по 2022 г. Корреляционный анализ с рассчитанным коэффициентом корреляции Пирсона ($p < 0,005$) был применен для выявления связи между среднесуточными температурами и сроками наступления фенофаз. Установлены средние сроки наступления фенофаз у двух видов – *Tanacetum vulgare* L., *Althaea officinalis* L. – за пятьдесят лет. Оба вида характеризовались значительными колебаниями сроков наступления фенологических событий в первые десятилетия начала интродукционного эксперимента. Для *T. vulgare* установлено наличие отрицательной корреляции между признаками температуры и началом фаз цветения и плодоношения. Для *A. officinalis* установлена отрицательная корреляция между признаками среднесуточной температуры и началом фазы вегетации и бутонизации. Установленные особенности ритма роста и развития проявили разницу между реакциями вида, адаптированного к природно-климатическим условиям региона культивирования (*T. vulgare*), и вида, слабоустойчивого к условиям региона. В первом случае значение имели среднесуточные температуры для фаз цветения и плодоношения, во втором – среднесуточные температуры начала вегетационного сезона (*A. officinalis*). При анализе среднемесячных температур за период 1972–2022 гг. установлены достоверно значимые увеличения средних температур весенних и осенних месяцев.

Ключевые слова: экология растений, лекарственные растения, фенологическая реакция, изменение климата, адаптация, *Tanacetum vulgare* L., *Althaea officinalis* L., юг Западной Сибири

Источник финансирования: исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWM-2020-0019).

Для цитирования: Зиннер Н.С., Некратова А.Н., Тюлькевич К.В., Буглова Л.В. Влияние изменений климата на реакцию растений-интродуцентов в условиях юга Сибири // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2023. № 64. С. 177–190. doi: 10.17223/19988591/64/9

The Influence of Climate Change on the Response of Introduced Plants in the Conditions of Southern Siberia

Nadegda S. Zinner¹, Anna N. Nekratova²,
Kristina V. Tyulkevich³, Liubov V. Buglova⁴

^{1, 2, 3} National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

⁴ Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

¹ <https://orcid.org/0000-0003-0363-0684>, zinner@inbox.ru

² <https://orcid.org/0000-0003-3087-6313>, aqulegia@gmail.com

³ <https://orcid.org/0009-0002-4531-0339>, kristinatulkevich6@gmail.com

⁴ <https://orcid.org/0000-0002-9978-1569>, astro11@rambler.ru

Summary. The aim of this study was to conduct a statistically significant assessment of the phenological reactions of perennial medicinal plants in the south of Tomsk Oblast coordinated with indicators of average daily and monthly temperatures. The work used classical research methods that were relevant and unchanged over fifty years of observation. The observations were carried out for fifty years on introduced plants that entered the period of generative development in 1972, after the individuals entered the postgenerative period of development and the cessation of generative function. The observations were carried out on their reproductions of the original individuals formed under the conditions of the south of Tomsk Oblast. The objects of research were species of medicinal plants introduced under the above conditions in the Siberian Botanical Garden: *Althaea officinalis* L., marshmallow, a perennial herbaceous plant of the Malvaceae family and *Tanacetum vulgare* L., tansy, a perennial herbaceous plant of the Asteraceae family. The phenological responses of perennial medicinal plants were studied using standard ground-based observational techniques from 1972 to 2022. The correlation analysis with the calculated Pearson correlation coefficient ($p < 0.005$) was used to identify the relationship between average daily temperatures and the timing of phenophases.

When analysing the results of meteorological monitoring of average monthly temperatures (conditionally divided by decades), reliably significant increases in average temperatures in the spring and autumn months were established: April from 1.3 to 4.5 °C over the last decade, August from 14.6 to 16.4 °C, October from 0.4 to 2 °C. In other cases, no clear trend towards an increase in average monthly temperatures over decades was found. When analysing changes in precipitation over decades, the most dramatic ones were noted in the summer months; no statistically significant trend toward an increase or decrease in precipitation over decades was established.

As a result of this study, the average timing of the onset of phenophases of *Tanacetum vulgare* L., *Althaea officinalis* L. individuals over fifty years under the conditions of an introduction experiment was determined. When analysing the timing of phenological events for *T. vulgare* in the south of Tomsk Oblast, it was established that the species goes through a full cycle of seasonal development with all phases successfully implemented. The average timing of the onset of vegetation in the south of Tomsk Oblast is at the beginning of May and is associated with a steady increase in air temperature above 0 °C, budding – at the beginning of July, flowering occurs at the end of July, fruiting is noted at the end of August. Using the standard deviation indicator, an attempt was made to establish a connection between the plasticity of the studied species and their phenological responses to climate change. The periods from 1972 to 1981 and from 2012 to 2022 were characterised by the greatest fluctuations in the standard deviation indicator for all phases of phenological development. However, over the

entire history of observations, the greatest changes in the timing of the onset of phenophases were noted for the flowering phase: minus 7 days per 10 years in the first decade and minus 5 days per 10 years in the last decade. The timing of the onset of the budding phase also shifted by 5 days over the first decade.

A. officinalis under the conditions of the south of Tomsk Oblast goes through a full development cycle; however, in some years, the fruiting process cannot be completed successfully, the seeds do not always have time to ripen, which can explain the high values of the standard deviation and deviation from the average long-term date of the onset of the phenological event. All phases of development were marked by significant fluctuations, and the phases of fruiting and budding - to the greatest extent. Spring re-growth under the conditions of Tomsk Oblast for *A. officinalis* L. begins at the end of May and is associated with a stable transition of temperatures through 5°C, budding begins in late June-early-mid July, flowering is noted in late July-early August, end of August- beginning of September. The most conservative characteristic in terms of standard deviation is the growing season during all the analysed periods; the largest fluctuations were noted for the fruiting phase in the decades 1981-1990 and 1991-2000. Over the entire history of observations, the greatest changes in the timing of the onset of phases were noted for budding: minus 13 days for the first decade and plus 14 days for the period 1991-2000 and the fruiting phase: minus 11 days for the first decade and minus 15 days for the period 1991-2000.

Both species were characterised by significant fluctuations in the timing of phenological events in the first decades of the beginning of the introduction experiment, perhaps this is due to actively ongoing adaptation processes or individual reactions to the conditions of the growing seasons. For *T. vulgare*, a negative correlation was established between temperature characteristics and the onset of the flowering and fruiting phases. For *A. officinalis*, a negative correlation was established between the average daily temperature and the onset of the vegetation and budding phases. The established features of the rhythm of growth and development showed the difference between the reactions of the species adapted to natural and climatic conditions of the cultivation region (*T. vulgare*) and the species weakly resistant to the conditions of the region (*A. officinalis*). In the first case, average daily temperatures for flowering and fruiting phases were of importance, in the second case – average daily temperatures of the beginning of the growing season. When analysing average monthly temperatures for the period 1972–2022, a significant increase in average temperatures of spring and autumn months were found.

The article contains: 2 Figures, 2 Tables, and 20 References.

Keywords: plant ecology, medical plants, phenological response, climate change, adaptation, *Tanacetum vulgare* L., *Althaea officinalis* L., south of Western Siberia

Fundings: The study was carried out as part of a state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. FSWM-2020-0019).

For citation: Zinner NS, Nekratova AN, Tyulkevich KV, Buglova LV. The Influence of Climate Change on the Response of Introduced Plants in the Conditions of Southern Siberia. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2023;64:177-190. doi: 10.17223/19988591/64/9

Введение

В современном мире фитотерапия становится все более популярной и широко используется для профилактики и лечения различных заболеваний. Одним из основных методов лечения во многих странах является исполь-

зование традиционных растительных лекарственных средств. Однако многие виды ресурсных растений подвергаются сверхэксплуатации, заготовка этих растений превышает разрешенные пределы, не учитывая их биологические возможности для восстановления популяций [1]. Один из путей сохранения генетических ресурсов лекарственных растений – это их интродукция и подробное изучение адаптационных механизмов.

В Сибирском ботаническом саду Томского государственного университета изучение и выращивание лекарственных растений было начато его первым директором, известным русским ботаником П.Н. Крыловым (с 1885 по 1890 г.), тогда было положено начало всестороннему исследованию лекарственных растений [2]. Интродукционное изучение лекарственных растений и последующая разработка агротехник выращивания остается одним из немногих путей сохранения природных популяций. Подробные исследования проводятся с модельными видами, прошедшими интродукционные испытания в течение от 15 до 20 лет: *Rhodiola rosea* L., *Hedysarum alpinum* L., *H. theinum* Krasnob., *Stemmacantha carthamoides* (Willd.) Dittrich, *Serratula coronata* L., *Eupatorium cannabinum* L. и др. К настоящему времени коллекция лекарственных растений Сибирского ботанического сада ТГУ представлена более чем 300 видами, около 168 отнесены к устойчивым и высокоустойчивым в условиях юга Томской области [3]. Виды перспективных лекарственных растений обычно проходят адаптацию в первичном интродукционном эксперименте и затем включаются в промышленное растениеводство с разработанной агротехникой. Этот процесс сопровождается адаптацией видов лекарственных растений к природно-климатическим изменениям и в дальнейшем способствует их сортовыведению. Важно учитывать природно-климатические риски и в первую очередь влияние климатических изменений на адаптационные механизмы культивируемых видов. Проведенные тематические исследования и экспертные оценки подтверждают изменение климата, которое в настоящее время доминирует или, как ожидается, будет доминировать в динамике биоразнообразия в будущем. Некоторые последствия изменения климата являются прямыми, например, воздействие повышения температуры на живые организмы [4–7].

Использование фенологических наблюдений в подтверждении или оценке характера климатических изменений предпочтительно, поскольку дает возможность оценить реакцию растений в широком временном диапазоне, а также оценить степень, в которой фенофазы растений реагируют на локальные изменения температуры и осадков [8,9].

Фенологические реакции организмов как ежегодно повторяющиеся циклические репродуктивные процессы растений вырабатываются в результате длительного приспособления организма к внешним условиям и генетически детерминированы. Ритмичность развития растений отличается большей лабильностью по сравнению с морфологическими признаками. Изменения по признаку ритма развития, как и по химическим признакам, обычно предшествуют изменениям по морфологическим признакам. Фенологические наблюдения позволяют установить взаимообусловленный ритм

развития растений и среды и проявить адаптационный потенциал. Целью исследований было провести статистически значимую оценку фенологических реакций многолетних лекарственных растений в условиях юга Томской области, скоординированной с показателями среднесуточных и среднемесячных температур.

Материал и методы

Исследования проводились на экосистемной дендрологической территории Сибирского ботанического сада ТГУ, расположенной на Западно-Сибирской равнине в среднем течении реки Оби, юге Томской области.

Объекты исследований: *Althaea officinalis* L. (алтей лекарственный), многолетнее травянистое растение семейства Malvaceae, и *Tanacetum vulgare* L. (пижма обыкновенная), многолетнее травянистое растение семейства Asteraceae. Для анализа температурных изменений использовались данные Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – мирового центра данных с использованием массива данных по станции «Томск» [10] и данные интернет-портала Gismeteo [11–13]. Оценивались изменения среднемесячной температуры и количества осадков по десятилетиям, для месяцев апрель–октябрь установлен характер корреляции между среднесуточными температурами и сроками наступления фенофаз.

Изучение ритма сезонного развития проводили по общепринятой методике [14,15], методом наземных фенологических наблюдений регистрировали наступление основных фенологических фаз в период с 1972 по 2022 г. Фиксировали начало наступления фенофаз: вегетации, бутонизации, цветения, плодоношения. Методика наблюдения была неизменна в течение всего периода наблюдений. Наблюдения проводили в течение пятидесяти лет на интродуцированных особях, вступивших в период генеративного развития в 1972 г., после вступления особей в постгенеративный период развития и прекращении генеративной функции, наблюдения проводили на репродукциях исходных особей, сформировавшихся в условиях юга Томской области.

Полученные данные сроков фенофаз двух исследованных видов были проверены на нормальность распределения. Нормальность распределения данных проверялась отдельно для каждой фенофазы каждого вида изученных растений с использованием критерия Шапиро–Уилка. Корреляционный анализ с рассчитанным коэффициентом корреляции Пирсона ($p < 0,05$) применяли для выявления связи между среднесуточными температурами и сроками наступления фенофаз. Для возможности прогнозировать сроки изменения фенофаз от среднесуточных температур нами был использован регрессионный анализ с расчетом коэффициентов детерминации. Обработка полученных данных проводилась с использованием пакета программ Statistica-12 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA). Все графики и рисунки построены с использованием пакета программ MS Excel 2016.

Результаты исследования и обсуждение

По мнению разных авторов, растительные организмы неоднозначно реагируют на изменения климата, у некоторых видов повышение среднегодовой температуры вызывает сдвиг фенологических фаз, однако реакции не всегда однозначны и часто очень видоспецифичны [16]. Цель проведенного исследования – оценить реакцию лекарственных растений, находящихся в условиях интродукционного эксперимента и имеющих разные степени адаптации в течение длительного временного промежутка.

При анализе результатов данных метеорологического мониторинга среднемесячных температур [10], условно разбитых по десятилетиям, установлены достоверно значимые увеличения средних температур весенних и осенних месяцев: апреля – от 1,3 до 4,5 °С к последнему десятилетию, августа – от 14,6 до 16,4 °С, октября – от 0,4 до 2 °С. В остальных случаях не обнаружено четкой тенденции к увеличению среднемесячных температур по десятилетиям. При анализе изменения количества осадков по десятилетиям отмечены наиболее резкие изменения в летние месяцы, статистически значимой тенденции к увеличению или уменьшению количества осадков по десятилетиям не установлено (рис. 1).

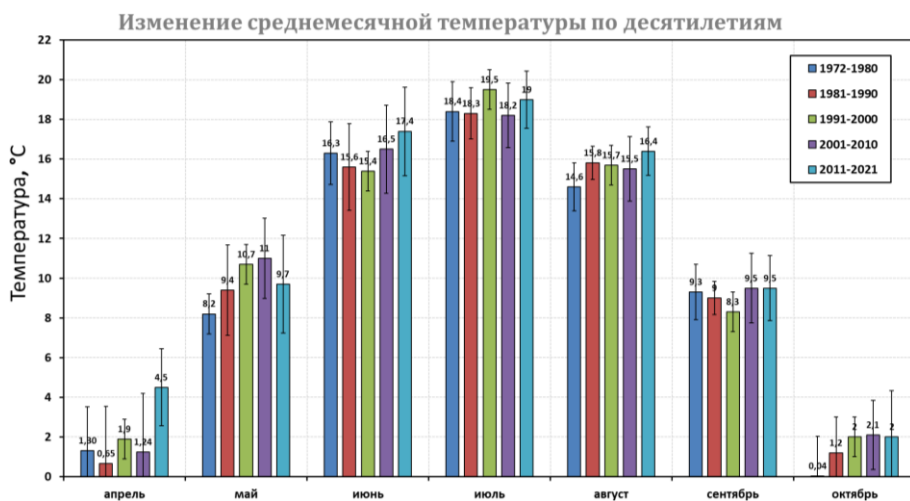


Рис. 1. Изменения среднемесячной температуры по периодам, условно десятилетиям, на юге Томской области

[Fig. 1. Changes in the average monthly temperature by periods, conditionally decades, in the south of Tomsk region]

При анализе многолетних реакций растений на климатические изменения выбраны виды, имеющие различный адаптационный потенциал в условиях Томской области. *Tanacetum vulgare* L. относится к феноритмотипу длительно вегетирующих весенне-летнезеленых многолетников с весенним сроком пробуждения и периодом зимнего покоя, в Томской области представлен часто и характеризуется как устойчивый вид [17, 18].

При анализе сроков наступления фенологических событий *T. vulgare* в условиях юга Томской области в течение пятидесяти лет установлены средние сроки наступления основных фенофаз (табл. 1). Вид проходит полный цикл сезонного развития, все фазы успешно реализуются. Показатели среднего квадратического отклонения некоторые авторы рассматривают как показатель пластичности или консервативности вида [19, 20]. Используя показатель среднего квадратического отклонения, сделана попытка установить связь между пластичностью изучаемых видов и их фенологическими реакциями на климатические изменения. Период с 1972 по 1981 и с 2012 по 2022 г. характеризовались наибольшими колебаниями показателя σ по всем фазам фенологического развития. Однако за всю историю наблюдений наибольшие изменения сроков наступления фенофаз отмечены для фазы цветения: минус 7 дней за 10 лет в первое десятилетие и минус 5 дней за 10 лет в последнее десятилетие. Сроки наступления фазы бутонизации также сдвинулись на 5 дней за первое десятилетие.

Таблица 1 [Table 1]

**Сроки наступления фенологических фаз *Tanacetum vulgare* L.
в условиях юга Томской области с 1972 по 2022 г.
[The timing of the onset of the phenological phases of *Tanacetum vulgare* L.
in the conditions of the south of the Tomsk region, 1972-2022]**

Период [Period]	Фаза развития [phase of phenological development]											
	Начало вегетации [Vegetation phase]			Бутонизация [Budding phase]			Цветение [Flowering phase]			Плодоношение [Fruiting phase]		
	Начало фазы [Beginning of the phase]	σ	δ	Начало фазы [Beginning of the phase]	σ	δ	Начало фазы [Beginning of the phase]	σ	δ	Начало фазы [Beginning of the phase]	σ	δ
1972–2022	07.05			05.07			24.07			25.08		
1972–1981	06.05	15,6	–1	30.06	12,6	–5	31.07	18,5	7	28.08	34,3	3
1982–1991	08.05	5,0	1	08.07	6,0	3	27.07	8,7	3	25.08	7,7	0
1992–2001	07.05	7,5	0	07.05	6,6	2	24.07	5,7	0	24.08	7,1	–1
2002–2011	06.05	8,1	–1	04.07	5,5	–1	20.07	7,7	–4	25.08	8,1	0
2012–2022	08.05	8,9	1	04.07	9,1	–1	19.07	13,2	–5	22.08	14,5	–3

Примечание. σ – среднее квадратическое отклонение; δ – отклонение от средней многолетней даты наступления фенологического события.

[Note. σ – the mean square deviation; δ – is the deviation from the average long-term date of occurrence of a phenological event].

Средние сроки наступления вегетации в условиях юга Томской области приходятся на начало мая и связаны с устойчивым повышением температуры воздуха выше 0 °С, бутонизации – на начало июля, цветение наступает в конце июля, плодоношение отмечено в конце августа (рис. 2, А).

A. officinalis естественно не произрастает на территории Томской области, в Западной Сибири встречается в степных районах, интродуцируется во многих ботанических садах Сибири, в Томской области, характеризуется как слабоустойчивый вид [18]. Предположительно вид должен испытывать больший адаптационный стресс, чем *T. vulgare*.

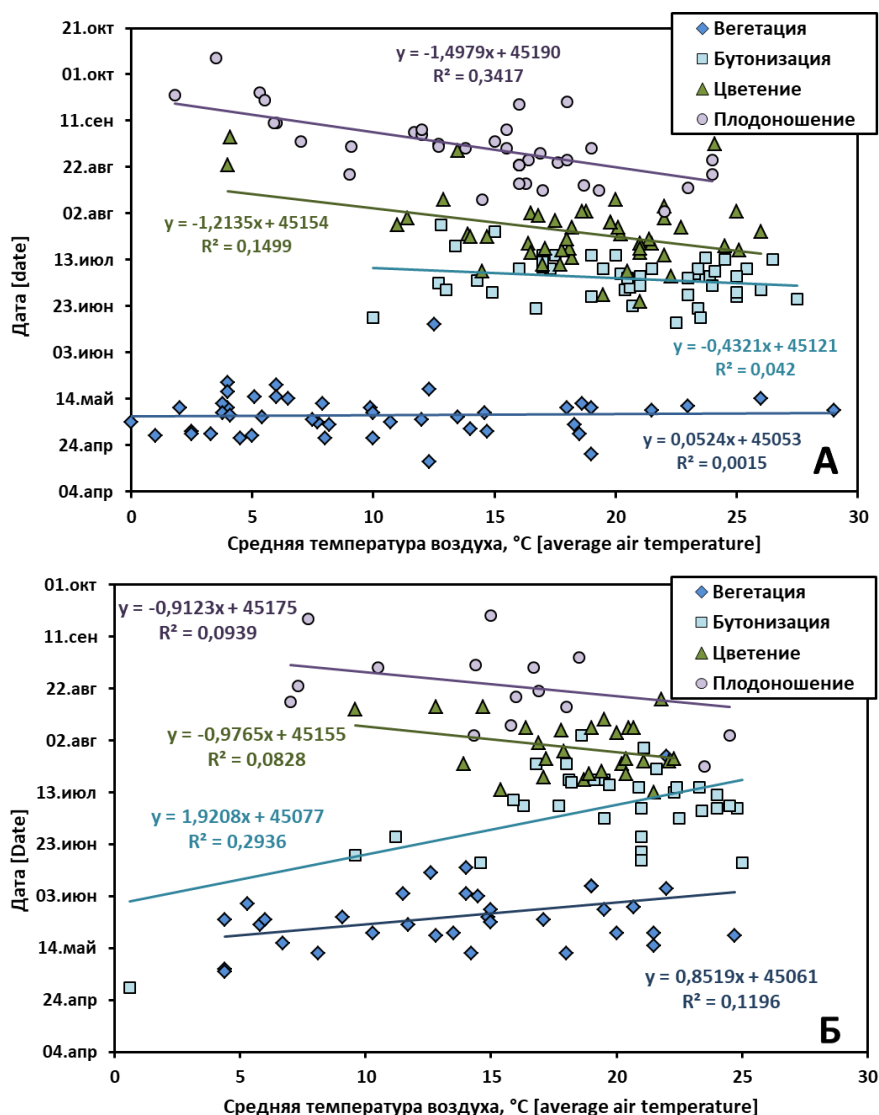


Рис. 2. Зависимость сроков наступления фенологических событий от температуры: *Tanacetum vulgare* L. (А) и *Althaea officinalis* L. (Б)
[Fig. 2. Dependence of the timing of phenological events on the temperature of *Tanacetum vulgare* L. (A) и *Althaea officinalis* L. (B)]

A. officinalis в условиях юга Томской области проходит полный цикл развития, однако не всегда удается успешно завершить процесс плодоношения, семена не всегда успевают созреть, этим можно объяснить высокие значения среднего квадратического отклонения и отклонения от средней многолетней даты наступления фенологического события. Все фазы развития отмечались значительными колебаниями, в наибольшей степени фазы плодоношения и бутонизации (табл. 2).

Таблица 2 [Table 2]

**Сроки наступления фенологических фаз *Althaea officinalis* L.
в условиях юга Томской области с 1972 по 2022 г.
[The timing of the onset of the phenological phases of *Althaea officinalis* L.
in the conditions of the south of the Tomsk region, 1972–2022]**

Период [Period]	Фаза развития [phase of phenological development]											
	Начало вегетации [Vegetation phase]			Бутонизация [Budding phase]			Цветение [Flowering phase]			Плодоношение [Fruiting phase]		
	Начало фазы [Beginning of the phase]	σ	δ	Начало фазы [Beginning of the phase]	σ	δ	Начало фазы [Beginning of the phase]	σ	δ	Начало фазы [Beginning of the phase]	σ	δ
1972–2022	24.5			3.7			28.7			23.8		
1972–1980	20.5	8,9	–4	15.6	21,7	–13	28.7	4,8	0	12.8	13,4	–11
1981–1990	25.5	5,8	1	4.7	17,2	1	23.7	14,0	–5	1.9	24,7	9
1991–2000	21.5	8,5	–3	17.7	9,6	14	3.8	7,5	6	12.8	86,1	–15
2001–2010	23.5	6,4	–1	7.7	8,7	4	2.8	13,7	5	25.8	19,6	2
2011–2022	29.5	9,3	5	29.6	10,8	–4	24.7	8,4	–4	2.9	11,8	10

Примечание. σ – среднее квадратическое отклонение; δ – отклонение от средней многолетней даты наступления фенологического события

[Note. σ – the mean square deviation; δ – is the deviation from the average long-term date of occurrence of a phenological event].

Весеннее отрастание в условиях Томской области для *A. officinalis* L. наступает в конце мая и связано с устойчивым переходом температур через 5 °С, бутонизация начинается в конце июня – начале–середине июля, цветение отмечено в конце июля – начале августа, конце августа – начало сентября (рис. 2, Б). Следует отметить, что данные о сроках наступления фаз созревания семян в первые 4 десятилетия разрознены, однако в последнее десятилетие удастся ежегодно фиксировать начало и конец фазы созревания семян, что говорит о перестройке ритмов роста и развития *A. officinalis* L. в условиях юга Томской области. Наиболее консервативным признаком по показателю σ выглядит фаза вегетации в течение всех анализируемых периодов, наибольшие колебания отмечены для фазы плодоношения в десятилетия 1981–1990 и 1991–2000 гг. За всю историю наблюдений наибольшие изменения сроков наступления фаз отмечены для бутонизации минус 13 дней за первое десятилетие и плюс 14 дней за период 1991–2000 гг. и фазы плодоношения минус 11 дней за первое десятилетие и минус 15 дней за период 1991–2000 гг.

Для двух видов отмечены значительные колебания сроков наступления фенологических событий именно в первые десятилетия начала интродукционного эксперимента. Это, скорее всего, связано с откликом генетического аппарата растений на изменения условий произрастания, что особенно активно проходило в первые 2 десятилетия.

Регрессионный анализ влияния среднесуточной температуры на наступление фенофаз *T. vulgare* демонстрирует статистически значимое ($R^2 = 0,15$

при $p = 0,0059$) более раннее наступление сроков цветения при увеличении среднесуточной температуры, что подтверждается отрицательной корреляции между признаками ($r = -0,53$ при $p < 0,05$). Закономерно с этим можно прогнозировать более ранние сроки плодоношения ($R^2 = 0,34$ при $p = 0,00002$) при увеличении среднесуточных температур, что также подтверждается корреляционным анализом ($r = -0,73$ при $p < 0,05$). (см. рис 2, А). При этом статистически значимой связи сроков фаз вегетации и бутонизации с изменением температуры не выявлено.

Для *A. Officinalis*, наоборот, установлена отрицательная корреляция между признаками среднесуточной температуры и началом фазы вегетации ($r = -0,56$ при $p < 0,05$) и бутонизации ($r = -0,61$, при $p < 0,05$). При этом не было выявлено влияния среднесуточной температуры на фазы цветения и плодоношения (см. рис. 2, Б). Полученные данные свидетельствуют о том, что для вида, адаптированного к условиям Томской области, среднесуточные температуры имеют меньшее значение в начале вегетационного сезона и больше влияют на фазы цветения и плодоношения. Напротив, для вида, находящегося в состоянии интродукционного стресса и проходящего процесс адаптации к условиям культивирования, среднесуточные температуры начала вегетационного сезона в значительной степени обуславливают сроки наступления вегетации и бутонизации.

Заключение

Установленные особенности ритма роста и развития проявили разницу между реакциями вида, адаптированного к природно-климатическим условиям региона культивирования (*T. vulgare*), и вида слабоустойчивого к условиям региона. В первом случае среднесуточные температуры имели значение для фаз цветения и плодоношения, во втором случае – среднесуточные температуры начала вегетационного сезона (*A. officinalis*). Для двух видов отмечены значительные колебания сроков наступления фенологических событий именно в первые десятилетия начала интродукционного эксперимента. При анализе среднемесячных температур за период 1972–2022 гг. установлены достоверно значимые увеличения средних температур весенних и осенних месяцев.

Список источников

1. Некратова А.Н., Зиннер Н.С., Шукина А.В. Лекарственные растения Томской области. Томск : Изд-во Том. ун-та, 2023. 200 с.
2. Свиридова Т.П., Зиннер Н.С. Интродукция флавоноидосодержащих лекарственных растений в Сибирском ботаническом саду // Вестник Томского государственного университета. 2007. № 305. С. 211–214.
3. Зиннер Н.С. Опыт интродукции лекарственных растений в Сибирском ботаническом саду Томского государственного университета // Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, Сургут, 11–12 ноября, 2021. С. 12–14.
4. Kirpotin S.N., Callaghan Terry V., Peregon A.M., Babenko A.S., Berman D.I., Bulakhova N.A., Byzaakay A.A., Chernykh T.M., Chursin V., Interesova E.A., Gureev S.P., Kerchev I.A., Kharuk V.I., Khovaly A.O., Kolpashchikov L.A., Krivets S.A., Kvasnikova Z.N., Kuz-

- hevskaja I.V., Merzlyakov O.E., Nekhoroshev O.G., Popkov V.K., Pyak A.I., Valevich T.O., Volkov I.V., Volkova I.I. Impacts of environmental change on biodiversity and vegetation dynamics in Siberia // *Ambio*. 2021. № 50. P. 1926–1952. doi: 10.1007/s13280-021-01570-6
5. Anisimov O., Zimov S. Thawing permafrost and methane emission in Siberia: Synthesis of observations, reanalysis, and predictive modelling // *Ambio*. 2021. № 50. P. 2050–2059. doi: 10.1007/s13280-020-01392-y
 6. Callaghan T.V., Shaduyko O., Kirpotin S., Gordov E. Siberian environmental change: Synthesis of recent studies and opportunities for networking // *Ambio*. 2021. № 50. P. 2104–2127. doi: 10.1007/s13280-021-01626-7
 7. Core Writing Team, Lee H., Romero J. eds. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change // 58 the session of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Interlaken, (19 March 2023). Geneva : IPCC, 2023. P. 1–34. doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001
 8. Harrington C.A., Dang Q.-L., Man R., Inoue S., Tedla B. Editorial: Changing seasons: how is global warming affecting forest phenology? // *Frontiers in forest and global*. 2023. № 6. doi: 10.3389/ffgc.2023/1257096
 9. Ford K.R., Harrington C.A., Bansal S., Gould P.G., St. Clair J.B. Will changes in phenology track climate change? A study of growth initiation timing in coast Douglas-fir // *Global Change Biology*. 2016. № 22. P. 3712–3723. doi: 10.1111/gcb.13328
 10. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (ТТТТ) : свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620942. URL: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных> (дата обращения: 13.09.2023).
 11. Дневник погоды в Томске // Gismeteo: прогноз погоды. URL: <https://www.gismeteo.ru/diary/4652/> (дата обращения: 13.09.2023).
 12. Геоинформационная система «Метеоизмерения онлайн» // Thermo.karelia.ru. URL: http://thermo.karelia.ru/weather/w_history.php?town=tom&month=5&year=1972 (дата обращения: 13.09.2023).
 13. Климатический мониторинг в Томске // Погода и климат. URL: <http://www.pogodai.klimat.ru/monitor.php?id=29430&month=5&year=2006> (дата обращения: 13.09.2023).
 14. Бейдеман Н.И. Изучение фенологии растений // *Полевая геоботаника*. 1960. Т. 2. С. 333–336.
 15. Методика исследований при интродукции лекарственных и эфиромасличных растений. М. : ФГБНУ ВИЛАР, 2022. 64 с.
 16. Жмылева А.П., Карпухина Е.А., Жмылев П.Ю. Фенологическая реакция лесных растений на потепление климата: рано- и поздноцветущие виды // *Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2011. № 2. С 5–15.
 17. Шмидт В.М. Ареалы лекарственных и родственных им растений СССР : атлас / ред. В.М. Шмидт. Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1983. 208 с.
 18. Интродукция растений природной флоры Сибири / науч. ред. А.Н. Куприянов, Е.В. Банаев. Новосибирск : Гео, 2017. 495 с.
 19. Корсакова С.П. Реакция многолетних эфиромасличных культур на изменение климата в условиях южного берега Крыма // *Сборник научных трудов ГНБС*. 2018. Т. 146. С. 61–71.
 20. Плугатарь Ю.В., Корсакова С.П. Эфиромасличные растения в условиях меняющегося климата. Симферополь : Ариал, 2019. 180 с.

References

1. Nekratova AN, Zinner NS, Chshukina AV. Lekarstvennye rasteniya Tomskoy oblasti [Medicinal plants of the Tomsk region]. Tomsk: Tomsk State University Publ.; 2023. 200 p. In Russian

2. Sviridova TP, Zinner NS. Introdykciya flavonoidosoderzhachshih lekarstvennyh rasteniy v Sibirskom botanicheskom sady [Introduction of flavonoid-containing medicinal plants in the Siberian Botanical Garden]. *Tomsk State University Journal*. 2007;305:211-214. In Russian
3. Zinner NS. Opyt introdykcii lekarstvennyh rasteniy v Sibirskom botanicheskom sady Tomskogo gosydarstvennogo universiteta [Experience in introducing medicinal plants in the Siberian Botanical Garden of Tomsk State University]. Materials of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference, Surgut, November 11-12, 2021. Surgut, 2021. PP. 12-14. In Russian
4. Kirpotin SN, Callaghan Terry V, Peregon AM, Babenko AS, Berman DI, Bulakhova NA, Byzaakay AA, Chernykh TM, Chursin V, Interesova EA, Gureev SP, Kerchev IA, Kharuk VI, Khovalyg AO, Kolpashchikov LA, Krivets SA, Kvasnikova ZN, Kuzhevskaya IV, Merzlyakov OE, Nekhoroshev OG, Popkov VK, Pyak AI, Valevich TO, Volkov IV, Volkova II. Impacts of environmental change on biodiversity and vegetation dynamics in Siberia. *Ambio*. 2021;50:1926-1952. doi: 10.1007/s13280-021-01570-6
5. Anisimov O, Zimov S. Thawing permafrost and methane emission in Siberia: Synthesis of observations, reanalysis, and predictive modelling. *Ambio*. 2021;50:2050-2059. doi: 10.1007/s13280-020-01392-y
6. Callaghan TV, Shaduyko O, Kirpotin S, Gordov E. Siberian environmental change: Synthesis of recent studies and opportunities for networking. *Ambio*. 2021;50:2104-2127. doi: 10.1007/s13280-021-01626-7
7. Core Writing Team, Lee H, Romero J. eds. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: IPCC. Proc. of the 58th Session of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Interlaken. 2023:1-34. doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001
8. Harrington CA, Dang QL, Man R, Inoue S, Tedla B. Editorial: Changing seasons: how is global warming affecting forest phenology? *Frontiers in forest and global*. 2023;6. doi: 10.3389/ffgc.2023/1257096
9. Ford KR, Harrington CA, Bansal S, Gould PG, St Clair JB. Will changes in phenology track climate change? A study of growth initiation timing in coast Douglas-fir. *Global Change Biology*. 2016;22:3712-3723. doi: 10.1111/gcb.13328
10. Bulygina ON, Razuvaev VN, Alexandrova TM. Opanie massiva dannyh sutochnoy temperatury vozduha i kolichestva osadkov na meteorologicheskikh stancyah Rossii i byvshego SSSR (TTTR). Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii bazy dannyh N 2014620942 [Description of the array of data on daily air temperature and precipitation at meteorological stations in Russia and the former USSR (TTTR). Certificate of state registration of database N 2014620942]. Available at: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных> (accessed: 13.09.2023).
11. Dnevnik pogody v Tomske [Weather diary in Tomsk] In: Gismeteo: weather forecast. Available at: <https://www.gismeteo.ru/diary/4652/> (accessed: 13.09.2023).
12. Geoinformacionnaya sistema Meteo izmereniya onlajn [Geoinformation system Meteo measurements online] In: Thermo.karelia.ru. Available at: http://thermo.karelia.ru/weather/w_history.php?town=tom&month=5&year=1972 (accessed: 13.09.2023).
13. Klimaticheskij monitoring v Tomske [Climate monitoring in Tomsk] In: Weather and climate. Available at: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=29430&month=5&year=2006> (accessed: 13.09.2023).
14. Beideman NI. Izuchenie fenologii rastenij [The study of plant phenology]. 1960;2:333-336. In Russian
15. Tsitsilin AN. Metodika introdykcii lekarstvennyh i efirnomaslichnyh rastenij (opyt VILAR) [Methodology for introducing medicinal and ether-oil plants (VILAR experience)] In: Introdykciya, sohranenie i ispol'zovanie biologicheskogo raznoobraziya flory: Materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, posvyashchennoj 90-letiyu Central'nogo botanicheskogo sada Nacional'noj akademii nauk Belarusi [Introduction, preservation and

- use of biological diversity of flora: Materials of the international scientific conference dedicated to the 90th anniversary of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (Minsk, 28 June, 2022)] Minsk: 2022. P. 64. In Russian
16. Zhmyleva AP, Karpukhina EA, Zhmylev PY. Fenologicheskaya reakciya lesnykh rastenij na poteplenie klimata: rano i pozdnocvetushchie vidy [Phenological reaction of forest plants to climate warming: early and late flowering species]. *Ecology and life safety*. 2011;2:5-15. In Russian
 17. Schmidt VM. Arealny lekarstvennykh i rodstvennykh im rastenij SSSR (Atlas) [Areas of medicinal and related plants of the USSR (Atlas)] Leningrad: Publ. House of Leningrad University; 1983. 208 p. In Russian
 18. Introdukciya rastenij prirodnoj flory Sibiri [Introduction of the natural flora of Siberia]. Kupriyanov AN, Banaev EV. Novosibirsk: Academic publishing house Geo; 2017. 495 p. In Russian
 19. Korsakova SP. Reakciya mnogoletnih efiromaslichnykh kul'tur na izmenenie klimata v usloviyakh yuzhnogo berega Kryma [The reaction of perennial ether-oil crops to climate change in the conditions of the southern coast of Crimea]. *Collection of scientific works of the State Budgetary Service*. 2018;146:61-71. In Russian
 20. Plugatar YV, Korsakova SP. Efiromaslichnye rasteniya v usloviyakh menyayushchegosya klimata [Essential oil plants in a changing climate]. Simferopol: Limited Liability Company Publishing House Printing House Arial; 2019. 180 p. In Russian

Информация об авторах:

Зиннер Надежда Сергеевна – канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории редких растений Сибирского ботанического сада, доцент кафедры сельскохозяйственной биологии Биологического института Национального исследовательского Томского государственного университета (Томск, Россия).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0363-0684>

E-mail: zinner@inbox.ru

Некратова Анна Николаевна – канд. биол. наук, научный сотрудник лаборатории лекарственных растений Сибирского ботанического сада Национального исследовательского Томского государственного университета (Томск, Россия).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3087-6313>

E-mail: aqulegia@gmail.com

Тюлькевич Кристина Викторовна – студент Национального исследовательского Томского государственного университета (Томск, Россия).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4531-0339>

E-mail: kristinatulkevic6@gmail.com

Буглова Любовь Викторовна – канд. биол. наук, старший научный сотрудник Центрального Сибирского ботанического сада СО РАН (Новосибирск, Россия).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9978-1569>

E-mail: astro11@rambler.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors:

Nadegda S. Zinner – Cand. Sci. (Biol.) Senior Researcher of the Laboratory Rare Plants, Siberian Botanical Garden, Associate Professor, National Research Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0363-0684>

E-mail: zinner@inbox.ru

Anna N. Nekratova – Cand. Sci. (Biol.) Researcher of the Laboratory medial plants, Siberian Botanical Garden, National Research Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3087-6313>

E-mail: aqulegia@gmail.com

Kristina V. Tyulkevich – student, National Research Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4531-0339>

E-mail: kristinatulkevic6@gmail.com

Liubov V. Buglova – Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher of the Central Siberian Botanical Garden SB RAS (Novosibirsk, Russian Federation).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9978-1569>

E-mail: astro11@rambler.ru

The Authors declare no conflict of interest.

*Статья поступила в редакцию 20.09.2023;
одобрена после рецензирования 19.12.2023; принята к публикации 22.12.2023.*

*The article was submitted 20.09.2023;
approved after reviewing 19.12.2023; accepted for publication 22.12.2023.*