

УДК 911.2

Феноиндикаторы геосистемы Северо-Восточного Алтая

Г.И. Ненашева¹, Н.С. Малыгина², Е.Ю. Митрофанова²,
О.В. Ловцкая², Н.А. Рябчинская¹, А.В. Соколов¹, С.В. Чухонцева³,
М.Б. Сахневич³, Е.Ф. Королева³

¹ Алтайский государственный университет (Барнаул, Россия)

² Институт водных и экологических проблем СО РАН (Барнаул, Россия)

³ Алтайский государственный природный биосферный заповедник
(Горно-Алтайск, Россия)

Phenoindicators of the North-Eastern Altai Geosystem

G.I. Nenasheva¹, N.S. Malygina², E.Y. Mitrofanova², O.V. Lovtskaya²,
N.A. Ryabchinskaya¹, A.V. Sokolov¹, S.V. Chukhontseva³,
M.B. Sakhnevich³, E.F. Koroleva³

¹ Altai State University (Barnaul, Russia)

² Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences (Barnaul, Russia)

³ Altaiskiy State Nature Biosphere Reserve (Gorno-Altai, Russia)

На основе фенологических данных 26 таксонов, наблюдения за которыми ведутся в Алтайском государственном природном биосферном заповеднике, и метеорологических данных ГМС Яйлю показано, что максимальные значения фенологического отклика (отклонения дат начала пыления) соответствуют максимальным изменениям термического режима в 1981–1999 гг. и для годовых значений составляют $1,8 \pm 0,3$ дня/10 лет или $2,3 \pm 1,0$ дня/°C. Расчеты температурной чувствительности, под которой подразумевается изменение даты начала пыления на 1 °C, показали, что хвойные растения (*Pinus sibirica* Du Tour и *P. sylvestris* L.) реагируют задержкой дат начала пыления на изменения среднегодовой температуры, а лиственные деревья (*Betula pendula* Roth и *B. pubescens* Ehrh.) довольно хорошо отражают среднегодовые температурные изменения датами смещения начала пыления. При этом полученные результаты для анализируемого тридцатилетия, равные $1,2 \pm 0,5$ дня/10 лет, сравнительно хорошо согласуются с данными для всего Северного полушария, составляющими $1,1 \pm 0,68$ дня/10 лет. Лиственные деревья (*B. pendula* и *B. pubescens*) могут быть использованы в качестве надежных феноиндикаторов состояния геосистемы Северо-Восточного Алтая.

Ключевые слова: феноиндикаторы, геосистема, температурная чувствительность, Северо-Восточный Алтай.

DOI 10.14258/izvasu(2014)3.2-23

В настоящее время основными проблемами геоэкологических исследований являются анализ и про-

Based on the phenological data for 26 taxa observed in the Altai State Nature Biosphere Reserve and meteorological data from the station Yailu which is working from 1932, it was shown, that the maximum values of the phenological response (deviation of the pollen dispersion start dates) correspond to the maximum change in the thermal regime during 1981–1999; the annual values is $1,8 \pm 0,3$ day/10 years or $2,3 \pm 1,0$ day/°C. The calculation of the temperature sensitivity, which means the change of the pollen dispersion start dates on 1 °C, showed that the conifers trees (*Pinus sibirica* Du Tour and *P. sylvestris* L.) react by the delay of the start dates to the changes of the average annual temperature; the deciduous trees (*Betula pendula* Roth and *B. pubescens* Ehrh.) are more likely to reflect the average temperature changes by shift of the pollen start dates. The results obtained for the analyzed 30 years are $1,2 \pm 0,5$ days/10 years and it agrees quite well with the data for the entire Northern Hemisphere, which is $1,1 \pm 0,68$ days/10 years. Thus, *B. pendula* and *B. pubescens* can be used as a reliable fenoindicators of the North-Eastern Altai geosystem.

Key words: fenoindicators, geosystem, temperature sensitivities, North-Eastern Altai.

гнозирование «откликов растений» на различные по степени интенсивности климатические измене-

ния [1, с. 494]. Изучению таких откликов отводят особую роль, так как именно изменения в жизни растений могут существенно повлиять как на отдельные компоненты экосистемы, так на всю экосистему в целом [2, с. 357–358]. Экосистему, по мнению Ю.П. Селиверстова [3, с. 108–110], необходимо рассматривать как частную систему по отношению к геосистеме, а геоэкологические исследования, включающие биоэкологические подходы, в том числе анализ откликов индикаторных видов растений — феноиндикаторов, использовать для оценки и прогнозирования состояний геосистемы. При этом всегда стоит учитывать тот факт, что каждый феноиндикатор имеет свои территориальные границы и для каждой природной зоны, географической провинции, горного пояса должны быть обоснованы местные (региональные) индикаторы геосистемы. Данное утверждение подтверждают наземные и спутниковые наблюдения, проводимые преимущественно в последнее десятилетие в Северном полушарии, в результате которых отмечают существенные фенологические изменения в жизни растений, сильно варьирующие от вида к виду и от региона к региону [4, с. 1969–1972; 2, с. 363–364; 5, с. 1861–1863; 6, с. 2570–2571; 7, с. 1283–1285; 8, с. 5–6]. Фенологический анализ 203 видов растений,

произрастающих в Северном полушарии, показал, что за последние десятилетия начало весны в среднем сдвинулось на $2,8 \pm 0,35$ дня [5, с. 1861–1862; 9].

На территории Российской Федерации комплексные и наиболее продолжительные фенологические наблюдения проводятся в заповедниках, расположенных в различных природно-климатических зонах, однако преимущественно в европейской части страны. Обобщенный анализ наблюдений, проводимых большей частью в прошлом столетии, показал заметное изменение дат наступления фенологических событий в последние десятилетия [10].

Алтайский государственный природный биосферный заповедник общей площадью 871206,6 га (в том числе площадь Телецкого озера — 11410 га), расположенный в азиатской части России, был основан 16 апреля 1932 г. (рис. 1). Это уникальнейшая особоохраняемая природно-биосферная территория, объект Всемирного культурного и природного наследия ЮНЕСКО, входящий в список «Global-200» (WWF) — девственных или мало измененных эко-регионов мира, в которых сосредоточено 90% биоразнообразия планеты, при этом занимающий одно из первых мест среди российских заповедников по биологическому разнообразию [11].



Рис. 1. Карта-схема района исследований с выделением территории Алтайского государственного природного биосферного заповедника

Располагаясь в Северо-Восточном Алтае и имея сложный рельеф с высотами до 3500 м, разнообразные климатические и естественно-исторические условия, Алтайский заповедник отличается значитель-

ным разнообразием растительного покрова. Из более 1500 видов сосудистых растений, известных на территории заповедника, встречаются реликты и эндемики. Наиболее распространенные древесные породы

Алтайского заповедника — кедр, пихта, лиственница, ель, сосна, береза. Основными задачами заповедника являются сохранение и изучение природных процессов и явлений, фенологических событий, генетического фонда растительного и животного мира, его отдельных видов и сообществ, типичных и уникальных экосистем. Результаты наблюдений, проводимые в заповеднике, фиксируются в ежегодных томах «Летописи природы» [12]. На территории заповедника, в центральной усадьбе — п. Яйлю, расположена гидрометеорологическая станция (ГМС), на которой с 1931 г. ведутся постоянные наблюдения, результаты которых в настоящее время находятся в свободном доступе на сайте ВНИИГМИ-МЦД [13].

Таким образом, обоснование региональных феноиндикаторов геосистемы с учетом их отклика на климатические изменения в Северо-Восточном Алтае является весьма актуальным и может быть использовано для решения как региональных геоэкологических задач, так и при верификации отдельных блоков глобальных экосистемных моделей, в том числе направленных на оценку и прогнозирование биологической эмиссии.

Для расчетов фенологического отклика растений на климатические изменения помимо данных наступления фенологических событий используют преимущественно температурные показатели [14, с. 277–278; 15, с. 472–476], допуская, что влияние других абиотических факторов, в том числе длина фотопериода [14,

с. 277–278] и дата начала снеготаяния [16, с. 71–74], может несущественно повлиять на изменения фенологических параметров.

В настоящей работе мы ограничиваемся временным интервалом 1981–2010 гг., так как именно за этот период есть наиболее полные фенологические данные по Алтайскому заповеднику и по термическому режиму на ГМС Яйлю. Среднегодовая температура ГМС Яйлю за анализируемое тридцатилетие составила +4,3 °С, что на 0,6 °С выше значений среднегодовой температуры за 1940–2010 гг., приводимых в работе Н.Г. Политовой [17, с. 197–198], а линейный тренд равен +0,2 °С / 10 лет. Стоит отметить, что в последнее десятилетие среднегодовая температура повысилась до +4,5 °С, что на 0,8 °С выше, чем значения для базового периода [17, с. 198]. Дополнительно нами проведены расчеты средних значений температур для теплого (апрель — сентябрь) и холодного (октябрь — март) периодов, которые составили +11,9 и –2,4 °С соответственно. Теплый период охватывает интервал с апреля по сентябрь, так как преимущественно в это время наблюдается основное пыление растений [18, с. 59].

На основании фенологических данных для 26 таксонов рассчитаны тренды дат начала пыления как для всего периода, так и для двух интервалов внутри него с целью детальной оценки фенологического отклика на существенные изменения в термическом режиме последнего десятилетия (табл.).

Фенологический отклик на температурные изменения в 1981–2010 гг.

Период	День / °С			День / 10 лет		
	год	теплый сезон	холодный сезон	год	теплый сезон	холодный сезон
1981–2010 гг.	2,1±0,5	3,2±1,1	0,7±0,2	1,2±0,5	1,7±0,7	0,4±0,1
1981–1999 гг.	2,3±1,0	3,7±1,4	2,1±0,8	1,8±0,3	2,4±0,6	0,8±0,2
2000–2010 гг.	0,9±0,6	1,1±0,8	0,2±0,7	1,1±0,7	1,2±1,1	0,3±0,6

Полученные результаты показали, что максимальный фенологический отклик на изменения годовой температуры наблюдался в 1981–1999 гг. и составил 2,3±1,0 дня / °С, при этом максимальные отклики теплого и холодного сезонов также характерны для этого периода. Стоит отметить, что именно в период 1981–1999 гг. отмечена значительная разница максимальных и минимальных среднегодовых температур, составляющая 3,3 °С, в то время как для последнего десятилетия разница составила только 2,9 °С (рис. 2). Иными словами, максимальные значения фенологического отклика соответствуют максимальным изменениям термического режима, т.е. растения очень чутко реагируют на существенные температурные изменения.

Под фенологическим откликом и температурной чувствительностью зачастую подразумевают изменение даты начала пыления при изменении среднегодовой температуры на 1 °С. В работе [1, с. 494] была предложена оптимизированная формула, позволяющая рассчитывать данную температурную чувствительность. Согласно этой формуле температурная чувствительность оценивается для определенного участка (*i*) и конкретного вида, где коэффициент β рассчитывается на основе формулы:

$$\text{фенологическая дата}_i = \beta_i * (MAT) + \varepsilon_i,$$

где *MAT* — среднегодовая температура для изучаемого участка; ε_i — стандартное отклонение.

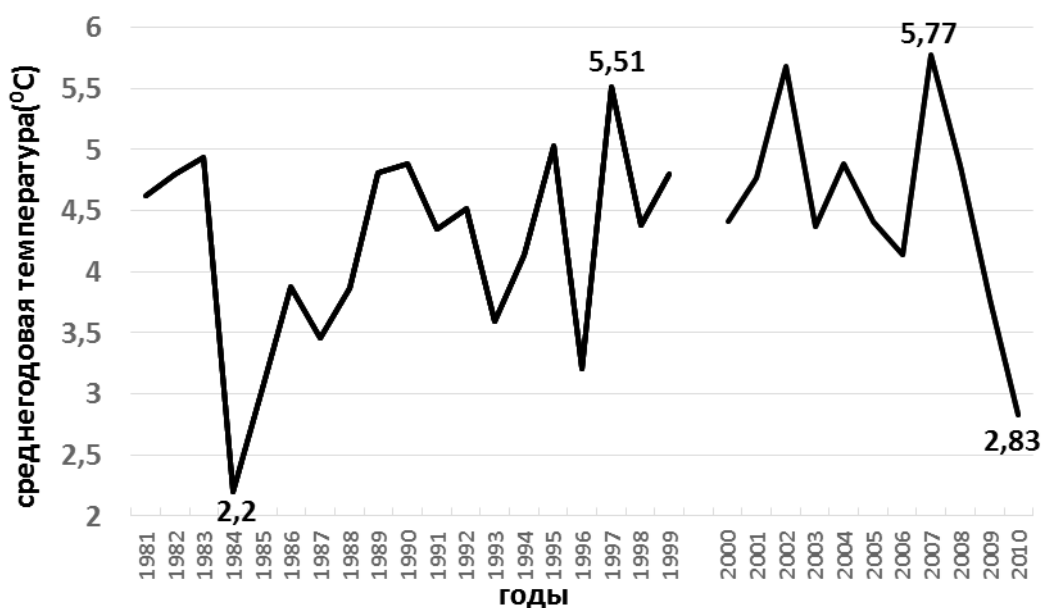


Рис. 2. Динамика среднегодовой температуры воздуха в 1981–1999 и 2000–2010 гг. с максимальными и минимальными значениями

По данной формуле рассчитана температурная чувствительность для 26 видов растений [19], резуль-

таты для трех наиболее характерных таксонов представлены на рисунке 3.

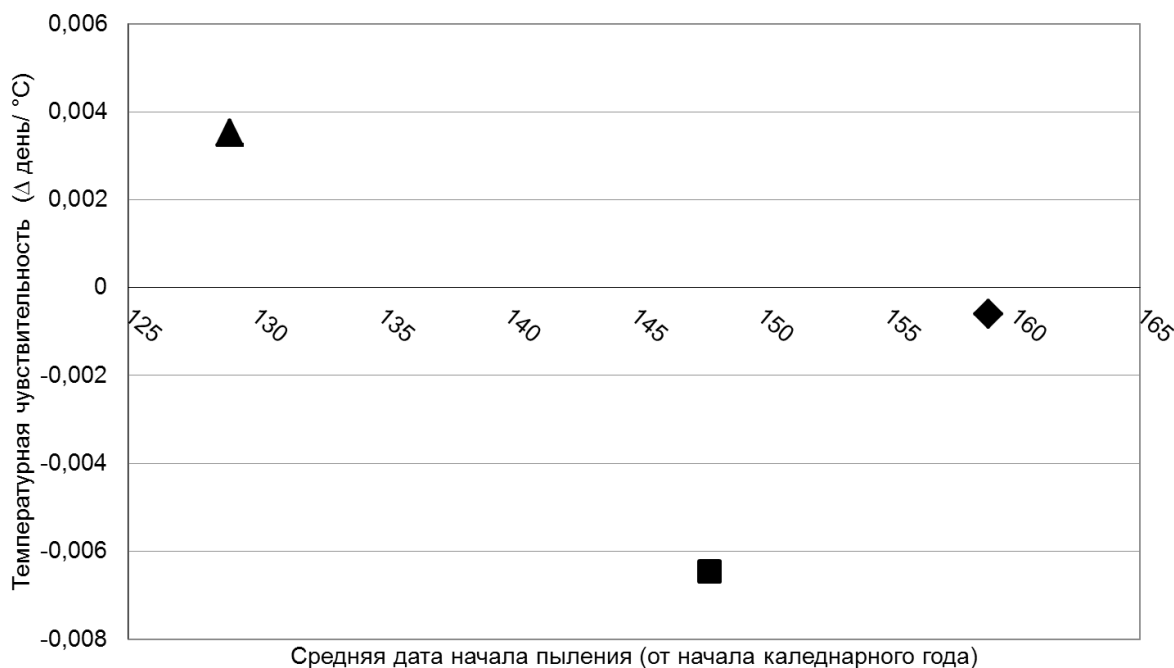


Рис. 3. Температурная чувствительность древесных растений: *Pinus sibirica* Du Tour (▲), *Pinus sylvestris* L. (■), *Betula pendula* Roth и *Betula pubescens* Ehr. (◆)

При интерпретации результатов стоит иметь в виду, что расчетные значения температурной чувствительности, превышающие ноль (отрицательная чувствительность), позволяют говорить о задержке фенологического отклика таксона на изменения термического

режима, в то время как значения меньше нуля (положительная чувствительность) свидетельствуют о довольно быстром отклике на температурные изменения. Полученные значения температурной чувствительности для хвойных растений (*Pinus sibirica* и *P. sylvestris*)

имеют значения больше нуля, т.е. для данных таксонов характерна отрицательная температурная чувствительность, выражающаяся в задержке дат начала пыления относительно температурных изменений для одного и того же временного интервала. Рассчитанная положительная температурная чувствительность для лиственных деревьев (*Betula pendula*, *B. pubescens*) позволяет говорить о довольно быстрой реакции изменений дат начала пыления относительно изменений среднегодовой температуры.

Таким образом, проведенные нами расчеты для последнего тридцатилетия фенологической чувствительности 26 таксонов, произрастающих в Северо-Восточном Алтае, показали, что максимальные фено-

логические изменения наблюдались в 1981–1999 гг., когда были отмечены максимальные разницы между среднегодовыми температурами. При этом полученные средние значения для всего анализируемого тридцатилетия, равные $1,2 \pm 0,5$ дня/10 лет сравнительно хорошо согласуются с данными по Северному полушарию для деревьев и кустарников — $1,1 \pm 0,68$ дня/10 лет [9]. Дополнительно полученная положительная температурная чувствительность для лиственных деревьев, в частности для *B. pendula* и *B. pubescens*, позволяет наиболее обоснованно использовать данные таксоны как региональные феноиндикаторы состояния геосистемы Северо-Восточного Алтая.

Библиографический список

1. Wolkovich E.M., Cook B.I., Allen J.M. et al. Warming experiments under predict plant phenological responses to climate change // *Nature*. — 2012. — V. 485.
2. Cleland E.E., Chuine I., Menzel A. et al. Shifting plant phenology in response to global change // *Trends in Ecology & Evolut.* — 2007. — V. 22.
3. Селиверстов Ю.П. География: нерешенные проблемы или сознательные заблуждения // *Географические проблемы конца XX века*. — СПб., 1998.
4. Menzel A., Sparks T.H., Estrella N. et al. European phenological response to climate change matches the warming pattern // *Global Change Biology*. — 2006. — V. 12, Is. 10.
5. Parmesan C. Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming // *Global Change Biology*. — 2007. — V. 13, Is. 9.
6. Primack R.B., Ibáñez I., Higuchi H. et al. Spatial and interspecific variability in phenological responses to warming temperatures // *Biological Conservation*. — 2009. — V. 142, Is. 11.
7. Cook B.I., Wolkovich E.M., Davies T.J. et al. Sensitivity of spring phenology to warming across temporal and spatial climate gradients in two independent databases // *Ecosystems*. — 2012. — V. 15, Is. 8.
8. Peñuelas J., Sardans J., Rivas-Ubach A., Janssens I.A. The human-induced imbalance between C, N and P in Earth's life system // *Global Change Biology*. — 2012. — V. 18, Is. 1.
9. IPCC — Intergovernmental Panel on Climate Change [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>.
10. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации [Электронный ресурс]. — URL: <http://voeikovmgo.ru/download/Tom%20II.pdf>.
11. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Алтайский государственный природный биосферный заповедник» [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.altzapovednik.ru/feedback.aspx>.
12. Летописи природы Алтайского государственного природного биосферного заповедника с 1981 по 2010 гг. Многолетние данные / Государственный архив РФ [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.statearchive.ru>.
13. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации — мировой центр данных [Электронный ресурс]. — URL: <http://meteo.ru/data>.
14. Chuine I., Morin X., Bugmann H. Warming photoperiods and tree phenology // *Science*. — 2010. — V. 329.
15. Rohde A., Bastien C., Boerjan W. Temperature signals contribute to the timing of photoperiodic growth cessation and bud set in poplar // *Tree Physiol.* — 2011. — V. 31, Is. 5.
16. Dunne J.A., Saleska S.R., Fischer M.L., Harte J. Integrating experimental and gradient methods in ecological climate change research // *Ecology*. — 2004. — V. 85.
17. Политова Н.Г., Сухова М.Г., Жилина Т.Н. Изменение показателей температурно-влажностного режима приземной атмосферы и реакция горных экосистем // *Вестник Томс. гос. ун-та*. — 2013. — № 371.
18. Ненашева Г.И. Аэропалинологический мониторинг аллергенных растений г. Барнаула : монография. — Новосибирск, 2013.
19. Malygina N., Barlyaeva T., Blyakharchuk T. et al. Reflection of climatic changes in Altai phenology [Электронный ресурс]. — URL: <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2014/EGU2014-357>.