

ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФЕНОЛОГИЮ РАСТЕНИЙ И НАСЕКОМЫХ В БАРГУЗИНСКОМ ЗАПОВЕДНИКЕ

Т.Л. Ананина^{1,3}, А.А. Ананин^{1,2,4}, Д.Ю. Шангареева¹

¹Объединенная дирекция Баргузинского государственного природного биосферного заповедника и Забайкальского национального парка (ФГБУ «Заповедное Подлеморье»), 670002, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, Комсомольская, 44-64, Россия.

E-mails: t.l.ananina@mail.ru; diana1shangareeva@yandex.ru

²Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, 670047, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьянова, 6, Россия. E-mail: a_ananin@mail.ru

³ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8735-0489>

⁴ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9251-0563>

Ключевые слова: Баргузинский заповедник, озеро Байкал, жуужелицы, растения, фенология

Аннотация. Для понимания фенологической стратегии биоты и ее способности выживать в изменяющихся климатических условиях требуются долговременные ряды наблюдений. В данной статье представлен анализ весенней фенологической реакции на абиотические факторы десяти таксонов: пяти видов насекомых и пяти видов растений, а также оценена роль отдельных климатических параметров. Представлены ряды наблюдений за семнадцать лет. Настоящие исследования сфокусированы на результатах наблюдений за весенними фенологическими фазами «начало цветения» растений и «выход из диапаузы (первое появление на поверхности)» жуужелиц. Исследованы пять характерных биотопов на территории Баргузинского государственного природного биосферного заповедника в прибрежной части оз. Байкал. Результаты корреляционного анализа показали четкую связь видов с температурными условиями среды – суммой накопленного тепла к началу активности модельных видов. Отмечается видовая изменчивость влияния суммы накопленного тепла на сроки регистрации весенних фенологических сезонов.

INFLUENCE OF ABIOTIC FACTORS ON THE PHENOLOGY OF PLANTS AND INSECTS IN THE BARGUZIN RESERVE

T.L. Ananina¹, A.A. Ananin^{1,2}, D.Yu. Shangareeva¹

¹United Administration of Barguzinsky State Nature Biosphere Reserve and Zabaikalsky National Park (FSE "Reserved Podlemorye"), 670002, Republic of Buryatia, Ulan-Ude, Komsomolskaya St., 44-64, Russian Federation.

²Institute of General and Experimental Biology SB RAS, 670047, Republic of Buryatia, Ulan-Ude, Sakhyanovoj street 6, Russian Federation.

Keywords: Barguzin Reserve, Lake Baikal, ground beetles, plants, phenology

Summary. To understand the phenological strategy of the biota and its ability to survive in changing climatic conditions, long-term series of observations are required. This article presents an analysis of the spring phenological response to abiotic factors of ten taxa: five species of insects and five species of plants, and assesses the role of individual climatic parameters. We analyzed the series of observations for seventeen years. We focused our research on the registration of the phenological phases "initial flowering" of plants and "exit from diapause (first appearance on the surface)" of ground beetles. Five typical biotopes were studied on the territory of the Barguzin State Natural Biosphere Reserve in the coastal part of Lake Baikal. The results of the correlation analysis showed a clear relationship between the species and the temperature conditions of the environment - the amount of accumulated heat by the beginning of the activity

model species. Differences in the influence of the amount of accumulated heat on the spring phenological phases of model species were noted.

Климат на Земле, особенно в последние десятилетия, становится все более изменчивым (Primack et al., 2009; Pozsgai et al., 2018). Вариации в сумме и сроках выпадения осадков, а также в температурном режиме оказывают воздействие на природные экосистемы (Соколов, 2012; Scranton, Amarasekare, 2017). Реакция биоты на фенологические изменения в сезонных сроках событий жизненного цикла, из-за недостаточности или отсутствия данных – наименее изученное последствие изменения климата. Насекомые и растения – важные составные части природных экосистем. Как эктотермы, они относятся к наиболее уязвимым представителям биоты, и изменчивость климата оказывает на них прямое влияние (Pospelova et al., 2017).

В Баргузинском государственном природном биосферном заповеднике накоплены многолетние результаты проведения фенологических наблюдений за явлениями в природе. При фитофенологических исследованиях у растений регистрируются наступления сезонных фенологических фаз (фенофаз) развития, у насекомых – выход и уход в диапаузу, массовые встречи. Фиксирование дат наступления фенологических фаз развития организмов позволяет выявить смещение сроков начала развития и активности (Chang et al., 2015).

Климат на территории восточного побережья оз. Байкал континентальный с чертами морского, по данным лаборатории метеорологии и климата Лимнологического института, входит в северный климатический округ (Экологический атлас оз. Байкал, 2015). Среднегодовое годовые температуры воздуха на территории Баргузинского заповедника составляют $-2,7^{\circ}\text{C}$. Самые холодные месяцы года – январь ($-22,7^{\circ}\text{C}$) и февраль ($-21,4^{\circ}\text{C}$). Самые теплые месяцы года – июль ($+12,9^{\circ}\text{C}$) и август ($+13,5^{\circ}\text{C}$) (Ananina, Ananin, 2020).

По нашим наблюдениям, основными абиотическими факторами, влияющим на фенологию животных и растений, сезонность жизненных циклов, а также, численность выступают температура и влажность воздуха (Ананина, Куркина, 2017). В условиях континентального климата Прибайкалья лидирует температура воздуха (Ананина, 2022).

Ряд ученых особо выделяют первостепенное значение фактора «количество тепла», получаемого земной поверхностью, или биологический минимум температуры, который необходим для развития эктотермных видов (Deutsch et al., 2008; Pozsgai et al., 2018; Минин и др., 2020).

Цель работы – анализ результатов долговременных фенологических наблюдений, оценка влияния климатических параметров на модельные группы животных и растений на территории Баргузинского заповедника.

Объектами нашего исследования послужили пять модельных видов насекомых (жужелиц) и пять видов высших сосудистых растений. Жужелицы относятся к хорошо известным организмам-индикаторам окружающей среды и являются подходящими моделями для выявления связей между изменениями окружающей среды и фенологическими тенденциями (Pozsgai et al., 2018). В качестве фенологических индикаторов – насекомых мы использовали доминантные виды жужелиц: *Pterostichus montanus* Motsch, *Pterostichus dilutipes* Motsch, *Pterostichus eximius* A. Mor., *Pterostichus nigrita* Payk., *Calathus micropterus* Duft. В качестве модельных видов растений были выбраны: Малина сахалинская (*Rubus sachalinensis* H. Lev.), Грушанка красная (*Pyrola incarnata* (DC.) Freyn, Княжик сибирский (*Atragene sibirica* (L.) Mill.), Одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* F.H. Wigg.), Смородина черная (*Ribes nigrum* L.). Выбрали близкие по содержанию фенологические фазы – первое появление на поверхности (начальным этап активности насекомых) и начало цветения растений (начало опыления).

Выбор биотопов для установки энтомологических линий был приурочен к постоянным фенологическим площадкам, где уже проводились долговременные метеорологические и фенологические наблюдения за температурой воздуха, за развитием растений и

влажностью почвы (Бейдеман, 1974). Площадки для фенологических наблюдений располагались в пяти биотопах, в окрестностях полевой базы «Давша» (рис. 1).

Размер площадок 20x20 м. На начальном этапе сезонной активности насекомых, в мае, сбор насекомых выполнялся ежедневно, в последующем – еженедельно до окончания активного периода (с 1 мая по 30 сентября). Ловушки вкапывались группами по 5 шт. в одну линию на расстоянии 5 м друг от друга. Для отлова мы использовали стеклянные пол-литровые банки, вкопанные вровень с поверхностью земли и наполненные на одну треть раствором фиксатора (4 % раствор формалина) (Грюнталь, 1982). Фиксировали самое начало сезонной активности модельных видов – даты первых встреч жукелиц и даты начала цветения растений.



Рис. 1. Расположение фенологических площадей на побережье оз. Байкал (бухта Давша).

Обозначение: пл. 1. Сосново-лиственничный лес; 2. Луг кустарниковый; 3. Луг разнотравный; 4. Сосново-березовый лес; 5. Кедровник.

Количество накопленного тепла (до начала регистрации наблюдаемой фенофазы) выражается в виде суммы среднесуточных температур воздуха, превышающих определенный порог: 0°C, +5°C, +10°C до начала фенологической фазы.

Зависимости начальных дат (наступления фенофаз) и жукелиц, и растений не были линейными, среднее отклонение от многолетних значений также значительным (табл. 1, табл. 2), поэтому мы использовали ранговый корреляционный анализ Спирмена (r_s) в программе Excel.

Для оценки влияния условий среды на активность объектов растительного и животного мира провели корреляционный анализ, позволяющий установить силу взаимосвязи между переменными. В анализ были включены, с одной стороны, расчетные индексы сумм накопленного тепла выше 0, +5, +10°C, показатели влажности почвы (%), уровень атмосферных осадков (мм), минимальная температура на поверхности почвы, даты наступления весенних фенологических сезонов (Голая весна, Зеленая весна, Предлетье). С другой стороны - сроки появления жуков на поверхности (выход из диапаузы) и даты регистрации фенологической фазы «начало цветения» растений. Названия и температурные рубежи фенологических сезонов описаны в методическом пособии (Филонов, Нухимовская, 1990):

- Голая весна – окончательный переход максимальных температур выше +5° С, сход снежного покрова (01.05 по среднемноголетним данным).
- Зеленая весна – окончательный переход максимальных температур выше +10° С (26.05).
- Предлетье – последний заморозок, первый переход минимальных температур выше +5° С (09.06).

Объем выборки за период (2005-2021 гг.) составил 85 дат наблюдений фенологической фазы «начало цветения» растений и 85 дат наблюдений фенофазы «первое появление» жуужелиц.

Результаты расчета среднемноголетних дат начала активности жуужелиц и растений и сумм накопленного тепла представлены в таблице 1 и таблице 2.

Согласно полученным данным начало активности анализируемых видов жуужелиц происходит в более ранние сроки, чем растений, и при меньшем количестве накопленного тепла, исключая одуванчик лекарственный.

Итоги параллельного корреляционного анализа долговременных фенологических рядов модельных видов жуужелиц и растений представлены в таблице 3 и таблице 4.

Таблица 1. Среднемноголетние даты выхода жуужелиц из диапаузы и суммы накопленного тепла в 2005-2021 гг.

Вид / фактор	Среднемноголетняя дата первого появления / Среднее отклонение (дни)	Среднемноголетняя сумма накопленного тепла / Среднее отклонение (t°C)
<i>Pterostichus eximius</i>	27.5±14.6	131.6±32.4
<i>Pterostichus montanus</i>	4.6±10.2	200.3±10.0
<i>Calathus micropterus</i>	9.6±8.8	229.1±67.3
<i>Pterostichus dilutipes</i>	12.6±8.1	241.3±80.2
<i>Pterostichus nigrita</i>	12.6±11.9	246.2±67.5

Таблица 2. Среднемноголетние даты фазы «начало цветения модельных видов растений и суммы накопленного тепла в 2005-2021 гг.

Вид / фактор	Среднемноголетняя дата начала цветения / Среднее отклонение (дни)	Среднемноголетняя дата накопленного тепла / Среднее отклонение (t°C)
Одуванчик лекарственный	20.5±5.1	93.3±21.5
Грушанка красная	17.6±7.7	296.0±52.4
Смородина черная	20.6±4.0	333.6±41.4
Княжик сибирский	19.6±4.2	322.6±27.7
Малина сахалинская	2.7±5.9	473.3±67.7

Таблица 3. Результаты корреляционного анализа наблюдений «фенофаза появление на поверхности – температурные индексы» модельных видов жуужелиц.

Вид / фактор	Коэффициенты <i>r</i> -Спирмена / уровень значимости корреляции				
	Сумма накопленного тепла ($\Sigma t > 5^\circ\text{C}$)	Сумма атмосферных осадков (мм)	Голая весна	Зеленая весна	Предлетье
<i>Pt. eximius</i>	0.73 \geq 0.001	0.18	0.26	0.58 \geq 0.05	0.50 \geq 0.05
<i>Pt. montanus</i>	0.86 \geq 0.001	-0.58 \geq 0.05	0.49 \geq 0.05	0.49 \geq 0.05	0.18
<i>C. micropterus</i>	0.82 \geq 0.001	0.28	0.10	0.24	0.10
<i>Pt. dilutipes</i>	0.80 \geq 0.001	0.31	0.43 \geq 0.1	0.19	0.38
<i>Pt. nigrita</i>	0.80 \geq 0.001	-0.57 \geq 0.05	0.64 \geq 0.01	0.31	0.14

Высокий уровень достоверности корреляции сроков регистрации фенологических фаз с суммами накопленного тепла (в девяти из десяти случаев) показан практически для всех модельных видов жуужелиц и растений. К другим анализируемым факторам отношение видов избирательное. Минимальные температуры на поверхности почвы влияния на активность жуужелиц не оказывали, в то же время отрицательно влияли на такие виды растений как одуванчик, смородина и княжик.

Таблица 4. Результаты корреляционного анализа результатов наблюдений «фенофаза начало цветения – температурные индексы» модельных видов растений.

Вид / фактор	Корреляционное отношение/уровень значимости				
	Сумма накопленного тепла ($\Sigma t > 0^\circ\text{C}$)	Мин ($t^\circ\text{C}$) на почве в мае	Голая весна	Зеленая весна	Предлетье
Одуванчик лекарственный	$0.66 \geq 0.01$	$-0.66 \geq 0.01$	$0.66 \geq 0.01$	$0.79 \geq 0.001$	0.31
Грушанка красная	$0.88 \geq 0.001$	-0.37	0.37	$0.46 \geq 0.1$	$0.76 \geq 0.001$
Смородина черная	$0.45 \geq 0.1$	$-0.55 \geq 0.05$	$0.52 \geq 0.05$	$0.54 \geq 0.05$	0.34
Княжик сибирский	0.24	$-0.63 \geq 0.01$	0.25	$0.62 \geq 0.01$	$0.49 \geq 0.05$
Малина сахалинская	$0.63 \geq 0.01$	-0.30	0.15	0.35	0.32

Критические значения выборочного коэффициента корреляции рангов ($n=17$): $r_s = 0.412$ (при уровне значимости 0,1); $r_s = 0.482$ (0,05); $r_s = 0.606$ (0,01); $r_s = 0.725$ (0,001).

С фактором влажность почвы у растений и жуужелиц значимых корреляционных отношений не выявлено. Наиболее важное влияние на активность жуужелиц оказал влияние фенологический сезон Голая весна (три из пяти видов), а на растения – сезон Зеленая весна (четыре из пяти видов) (табл. 3, 4).

Таким образом, сумма накопленного тепла выступает наиболее важным фактором, объясняющим начало активности экотермных видов и животных, и растений.

Список литературы

Ананина Т.Л., 2020. Фенологические сдвиги в меняющемся климате // Материалы заочной конференции Саяно-Шушенского биосферного заповедника. Мониторинг состояния природных комплексов и многолетние исследования на особо охраняемых природных территориях. Вып. 4. С. 22–26.

Ананина Т.Л., 2022. Фенологические изменения жуужелиц рода *Pterostichus* в Баргузинском заповеднике (Северное Прибайкалье) // Биота, генезис и продуктивность почв: материалы XIX Всероссийского совещания по почвенной зоологии / под ред. А.В. Тиунова, К.Б. Гонгальского, А.В. Уварова. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН. С.18–19.

Ананина Т.Л., Куркина И.И., 2017. Влияние влажности почвы на долговременную численность жуужелиц побережья Северо-Восточного Прибайкалья // Природа Байкальской Сибири: труды заповедников и национальных парков Байкальской Сибири. №2. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН. С.77–85.

Бейдеман И.Н., 1974. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ: метод, указания. Новосибирск: Наука. 155 с.

Белова Н.А., 2017. К динамике основных климатических параметров Южного Прибайкалья // Природа Байкальской Сибири: труды заповедников и национальных парков Байкальской Сибири. Вып. 2. Улан-Удэ: изд-во БНЦСО РАН. С. 137–144.

Грюнталь, С.Ю., 1982. К методике количественного учета жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) // Энтомологическое обозрение. Т. 61, Вып. 1. С. 201–205.

Минин А.А., Ананин А.А., Буйволов Ю.А., Ларин Е.Г., Лебедев П.А., Поликарпова Н.В., Прокошева И.В., Руденко М.И., Сапельникова И.И., Федотова В.Г., Шуйская Е.А., Яковлева М.В., Янцер О.В., 2020. Рекомендации по унификации фенологических наблюдений в России // Nature Conservation Research. Заповедная наука. Т. 5, № 4. С. 89–110. DOI: 10.24189/ncr.2020.060

Соколов Л. В., 2012. Климат в жизни растений и животных. Санкт-Петербург. 344 с.

Филонов К.П., Нухимовская Ю.Д., 1990. Летопись природы в заповедниках СССР. Методическое пособие. М.: Наука. 143 с.

Экологический атлас озера Байкал, 2015. Иркутск: изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. 145 с.

Ananina T.L., Ananin A.A., 2020. Long-term Climatic Changes in the Northeastern Baikal Region (Russia) // *Journal of Atmospheric Science Research*. Vol. 3(4). P. 10–15. <https://doi.org/10.30564/jasr.v3i4.2255>.

Chang X.-Y., Chen B.-M., Liu G., Zhou T., Jia X.-R., Peng S.-L., 2015. Effects of Climate Change on Plant Population Growth Rate and Community Composition Change // *PLoS ONE*. Vol. 10(6): e0126228. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0126228>

Deutsch C.A., Tewksbury J.J., Huey R.B., Sheldon K.S., Ghalambor C.K., Haak D.C. and Martin P.R., 2008. Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude // *PNAS*. Vol. 105 (18). P. 6668–6672. <https://doi.org/10.1073/pnas.0709472105>

Pospelova E.B., Pospelov I.N., Orlov M.V., 2017. Climate change in Eastern Taimyr over the last 80 years and the warming impact on biodiversity and ecosystem processes in its territory // *Nature Conservation Research*. Vol. 2, № 3. P. 215–221. DOI: 10.24189/ncr.2017.040

Pozsgai G., Baird J., Littlewood N.A. et al., 2018. Phenological changes of the most commonly sampled ground beetle (Coleoptera: Carabidae) species in the UK environmental change network // *Int J Biometeorol*. № 62. P. 1063–1074. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1509-3>

Primack R.B., Ibanes I., Higuchi H., Lee S.D., Miller-Rashing A.J., Wilson A.M., Silanger J.A., 2009. Spatial and interspecific variability in phenological responses to warming temperatures // *Biol. Conserv.* DOI: 10.1016/j.biocon.2009.06.003

Scranton K., Amarasekare P., 2017. Predicting phenological shifts in a changing climate // *PNAS*. Vol. 114, № 50. <https://doi.org/10.1073/pnas.1711221114>.