

УДК 581.543

DOI: 10.18101/2587-7143-2018-1-17-26

## **МОНИТОРИНГ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ В БАРГУЗИНСКОМ ЗАПОВЕДНИКЕ**

**Е. В. Бухарова, И. И. Куркина**

© **Бухарова Евгения Васильевна**

кандидат биологических наук,  
старший научный сотрудник, Объединенная дирекция  
государственного природного биосферного заповедника  
и Забайкальского национального парка («Заповедное Подлеморье»)  
670045, г. Улан-Удэ, ул. Комсомольская, 44–64  
E-mail: darakna@mail.ru

© **Куркина Ирина Ивановна**

научный сотрудник ФГБУ «Объединенная дирекция  
государственного природного биосферного заповедника  
и Забайкальского национального парка» («Заповедное Подлеморье»)  
670045, г. Улан-Удэ, ул. Комсомольская, 44–64  
E-mail: irina--kurkina@yandex.ru

Фитофенологические наблюдения в заповеднике проводятся на постоянных и временных маршрутах и на 5 постоянных пробных площадях по методике И.Н. Бейдемана. Для фенологических наблюдений выбран 81 вид высших растений, из них 7 видов лесообразующих. Фенологические наблюдения осуществляются за 5 фенофазами, 22 явлениями. Для анализа влияния погодных условий на вегетацию растений выбран индекс засушливости, как один из параметров отражающих обеспеченность биотопов влагой, то есть связь между осадками и температурой воздуха. В качестве важных фенофаз выбраны фазы «цветение» и «плодоношение». Выявленная в результате корреляционного анализа отрицательная связь между годом и индексом засушливости подтверждает тенденцию к аридизации климата Баргузинского заповедника. При анализе со смещением сроков фенофаз относительно сроков регистрации индекса засушливости, связи отмечаются на всех площадках и во всех декадах наблюдения фенофаз массового плодоношения и цветения. Для цветения и плодоношения растений необходимо увлажнение за первую или третью декады до фенофазы. Отрицательная корреляция между годом и числом плодоносящих видов демонстрирует снижение плодоношения наблюдаемых видов, что подтверждает положительные связи между индексом засушливости и числом плодоносящих видов. Анализ показал, что параметры индекса засушливости могут быть использованы для объективной характеристики биотопов и прогноза семенной продуктивности растений.

**Ключевые слова:** биотоп; заповедник; индекс засушливости; корреляционный анализ; климатические факторы; мониторинг; плодоношение; цветение; фенология; фенофаза.

**Введение.** Важное значение в условиях антропогенного влияния и меняющегося климата имеют исследования влияния метеорологических факторов на растительный покров, среди которых ключевым является изучение фенологии растений. "Всякое более или менее углубленное изучение растительности необходимо начинать или сопровождать фенологическими наблюдениями. Без феноло-

гии характеристика ценоза не полна, лишена освещения важного свойства ценоза — его ритма" (Шенников, 1964). Согласованность сроков фенологических событий в жизни растений часто в существенной степени обеспечивает их нормальные взаимодействия в экосистеме (трофические, конкурентные и т. д.), а сдвиги этих сроков во времени, напротив, могут приводить к рассогласованию взаимодействий, что оказывает влияние на численность популяций и успешность воспроизводства (Инсаров и др., 2012). Решение задачи определения роли каждого из факторов в жизни растения, о влиянии их на продуктивность фитоценозов в условиях меняющегося климата, что можно использовать для прогнозных оценок и принятия решений, возможно при организации долговременного мониторинга. Общим требованием к данному виду мониторинга является проведение его над растениями каждого вида не менее, чем в течение 10–15 лет, приведение полученных коротких рядов наблюдений к средним фенодатам длительных (30–36 лет) эталонным феноиндикационным рядам (Фирсов и др., 2009). Это возможно в условиях особо охраняемых природных территорий.

Регулярные наблюдения в Баргузинском заповеднике охватывают период с конца тридцатых годов, но наиболее полные данные получены во второй половине 20-го века. В настоящее время заповедник располагает практически непрерывными рядами наблюдений длиной в 45–30 лет. В них входят традиционные для заповедников России результаты фенологические наблюдения и климатические ряды (Ананин и др., 2001; Ананин, Ананина, 2013). В то же время анализ данных мониторинга фенологии растений практически не проводился.

Целью работы является выявление влияния климатических параметров на фенологические явления в жизни растений.

Фитофенологические наблюдения в заповеднике проводятся на постоянных и временных маршрутах всеми научными сотрудниками и на пяти постоянных пробных площадях фенологом заповедника.

**Материалы и методы.** В основу исследований сезонных явлений в растительности заповедника заложены методики С. Н. Преображенского и Н. И. Галахова (1948). Наблюдения за хвойными породами проводятся по методике И. Н. Елагина (1975). Для фенологических наблюдений выбран 81 вид высших растений, из них 7 видов лесобразующих. Фенонаблюдения осуществляются за 5 фенофазами, 22 явлениями. У растений регистрируются сезонные фазы развития: набухание и раскрытие почек, облиствение, цветение (начало и конец), созревание плодов и семян, осеннее расцветивание листвы, листопад. Результаты фенологических наблюдений помещают в Летописи природы.

Фенологические площадки располагаются в пределах хозяйственной зоны п. Давша. К моменту их разбивки растительность испытывала более сильное антропогенное воздействие в связи с постоянным населением в п. Давша. В настоящее время воздействие человека связано только с проведением фенонаблюдений на площадках. Фенологические наблюдения проводятся в заповеднике на 5 постоянных пробных площадках (ППП) по методике И.Н. Бейдемана (1974).

Площадка №1 расположена на 2-й байкальской террасе в 10 м от уреза воды озера, у подножья склона мыса Немнянда. Фитоценоз: лиственнично-кедровый баданово-разнотравный.

Площадка №2 расположена юго-восточнее пос. Давша на 3-й Байкальской террасе (высота над уровнем Байкала 10–12 м) в лиственнично-кедровом толокнянково-шикшиво-багульниковом сообществе.

Площадка №3 расположена близ устья р. Давше на 1-й речной террасе и частично в пойме реки. Участок затапливается во время весеннего разлива. Фитоценоз: Березово-лиственничный разнотравно-злаковый.

Площадка №4 расположена на 2-й Байкальской террасе (около 8 м над уровнем озера) с развитием луговой растительности имеющей антропогенное происхождение. На ППП регистрируется подрост сосны, березы и кедра разного возраста.

Площадка №5 размещена на склоне мыса Немнянда на месте гари 1961 г. При описании площадки в 1981 году древостой отсутствовал. В настоящее время здесь сформирован лесной фитоценоз — сосняк березово-разнотравный с лиственницей.

На стационарных площадках оценивается состояние растительных популяций в зависимости от климатических изменений и др. факторов среды. Метеоданные: температура воздуха, сумма осадков регистрируются на метеостанции «Давша» и термографами (в последнее время термохронами) на постоянных пробных площадках.

График температур воздуха и осадков строится по методу А. Госсена. На оси абсцисс откладываются месяцы, а на оси ординат — среднемесячные температуры воздуха и осадки в соотношении 1:2 (т. е. 10° соответствует 20 мм осадков). Если на такой климадиаграмме кривая осадков окажется ниже кривой температуры воздуха, то время, в продолжении которого этот период будет сохраняться, является засушливым, неблагоприятным для роста и развития растений.

Для анализа влияния погодных условий на вегетацию растений выбран индекс засушливости, как один из параметров, отражающих обеспеченность биотопов влагой, то есть связь между осадками и температурой воздуха. Этот индекс является обобщенной характеристикой засушливости, выведен Мартоном (Дре, 1976):  $I = P/(T+10)$ , где  $P$  — годовое количество осадков, мм;  $T$  — годовая температура в градусах. Чем выше индекс засушливости, тем влажнее климат.

В качестве важных фенофаз, определяющих семенную продуктивность, выбраны фазы «цветение» и «плодоношение». В качестве характеристики температурно-влажностного режима феноплощадок суммировался индекс засушливости по годам на каждой площадке. Для определения наиболее влажных и сухих периодов индекс засушливости по каждой декаде на площадках суммировался по годам.

Данные обрабатывались с помощью программы Statistica, в которой рассчитывался коэффициент корреляции Спирмена. Этот коэффициент используется для определения линейной связи между случайными величинами. Корреляция Спирмена является ранговой, то есть для оценки силы связи используются не численные значения, а соответствующие им ранги. Коэффициент инвариантен по отношению к любому монотонному преобразованию шкалы измерения.

**Результаты и обсуждение.** В период с 2008 по 2013 год самым влажным годом был 2008 (сумма осадков — 534 мм), самый сухой — 2013 г. с суммой осадков — 322,4 мм (рис. 1.). Суммы активных температур выше 0°C и выше 5°C менялись по годам однотипно, температуры выше 10°C имеют другую динамику,

но в целом температурные кривые отражают общий тренд повышения активных температур. Сумма годовых осадков, напротив, имеет тренд, демонстрирующий снижение этого показателя. Небольшое повышение показывает тренд продолжительности безморозного периода (Бухарова, 2014).

Эти данные подтверждают выводы предыдущих исследователей (Ананин, Ананина, 2013) о тенденциях аридизации и потепления климата.

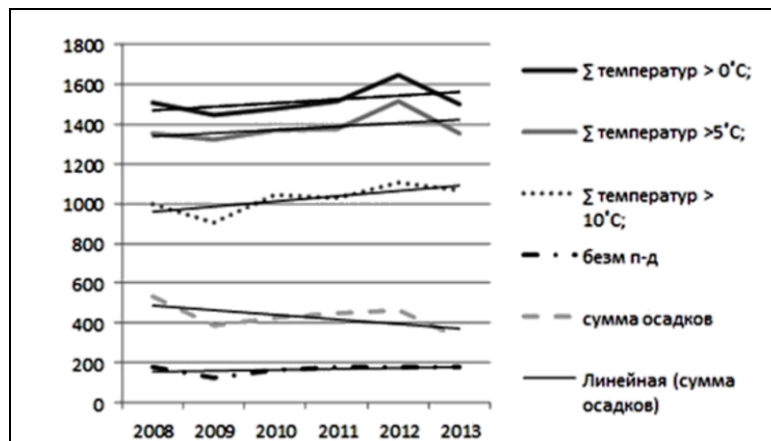


Рис. 1. Динамика климатических факторов в 2008-2013 гг.

В фенологических исследованиях в заповеднике используется коэффициент засушливости, как легко рассчитываемый по доступным данным климатический показатель. Этот коэффициент определяется на каждой площадке ежедекадно. Он также отражает тренд потепления и иссушения климата (рис 2).

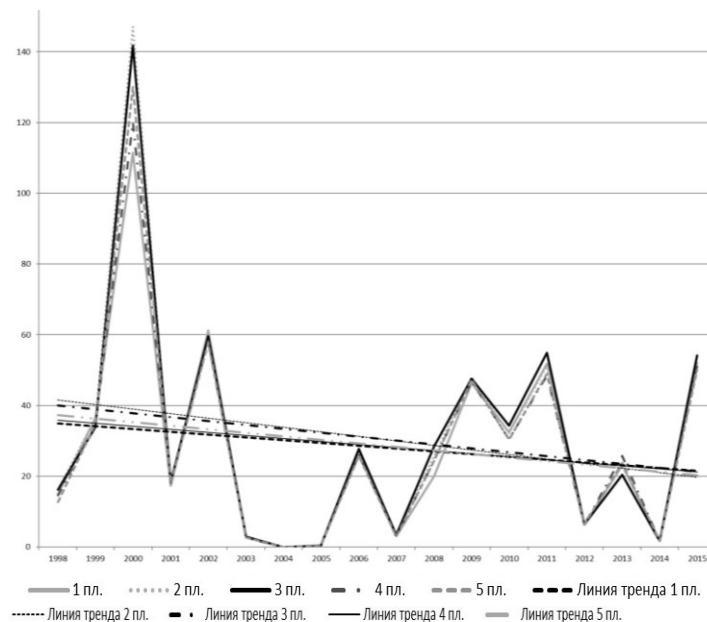


Рис. 2. Индекс засушливости на феноплощадках по годам (1988–2015) за первую декаду июля

Климатические показатели на феноплощадках при одинаковых значениях осадков отличаются тепловым режимом. Это связано с мезорельефом местности бухты Давше.

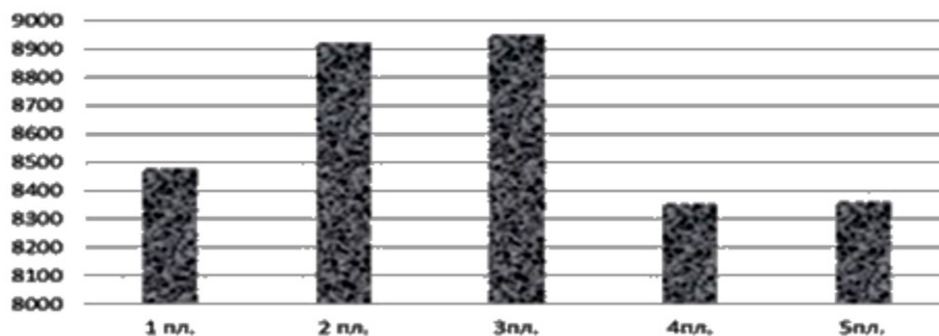


Рис. 3. Индекс засушливости (суммарный по годам) на феноплощадках

Наиболее теплыми и сухими площадками, как показывает индекс засушливости (рис. 3), являются 4 и 5 площадки, первая из которых расположена на поляне с выходом горячего источника, а вторая — на склоне южной экспозиции на гари с редкостойным лесом. Самая «холодная» площадка, в связи с чем здесь отмечается самый высокий индекс засушливости — это площадка № 3 в устье р. Давше.

В связи с этим фенологические показатели отличаются у одних и тех же видов наблюдаемых на разных площадках. Например, у брусники в 2013 г. (Табл. 1) фенофазы наступали раньше на площадках № 4; 5; 1 последовательно, а на более холодных площадках № 2 и 3 на 5-10 дней позднее. Таким образом, по индексу засушливости можно судить об относительных сроках наступления фенофаз и отклонении их от многолетних средних показателей.

Таблица 1

Фенология *Vaccinium vitis-idaea* L. на феноплощадках в 2013 г.

Виды Фенофазы	Брусника 1 пл.	Брусника 2 пл.	Брусника 3 пл.	Брусника 4 пл.	Брусника 5 пл.
Начало зеленения листовых почек	16.5	21.5	21.5	16.5	15.5
Рост побега	9.6	13.6	13.6	10.6	3.6
Массовое разворачивание цветочных почек	13.5	21.5	21.5	5.5	7.5
Начало цветения	17.6	29.6	23.6	3.6	17.6
Массовое цветение	24.6	5.7	28.6	22.6	25.6
Окончание цветения	28.6	9.7	5.7	26.6	28.6
Начало завязывания плодов	1.7	13.7		28.6	
Начало созревания		20.7	26.7	22.7	15.7
Массовое созревание		20.7	13.7	11.7	12.7
Начало опадания плодов		16.9		5.9	

Наиболее влажным периодом на феноплощадках является последняя декада мая (рис. 4). Самый засушливый месяц — июль, в средней декаде которого отмечаются как высокие температуры, так и низкое количество осадков.

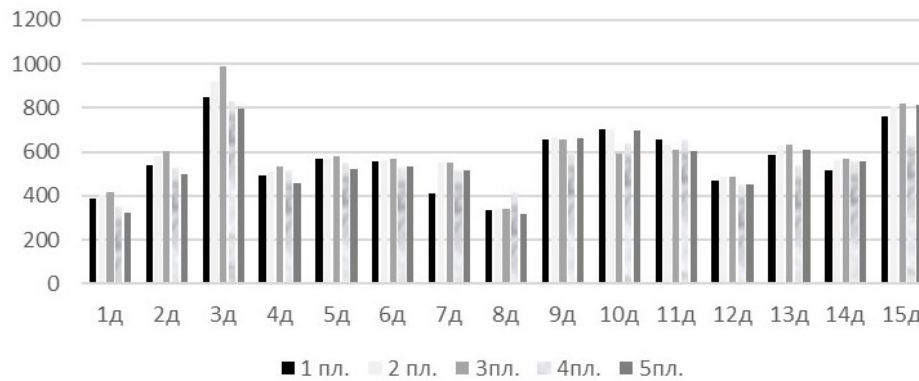


Рис. 4. Индекс засушливости на феноплощадках по декадам (май-сентябрь) суммарно по годам (1998–2015 гг.)

Репродуктивная способность растений зависит от многих факторов, наступает у разных видов в разные сроки и имеет различную периодичность. Она является одной из главных функций для выживания вида. Осуществление репродукции происходит в период генеративного развития, который относится к числу важных периодов жизни растений, во время которого происходит цветение и плодоношение наблюдаемых видов. Активные биохимические процессы в этот период жизни растений во многом зависят от климатических факторов.

При изучении ритма развития растений и сопоставлении ее динамики с факторами внешней среды (температура, осадки) в Летописи природы строятся кривые цветения и плодоношения на графике температур воздуха и осадков. Как пример, приводим материалы Летописи природы за 2012 г. (Рис. 5). На диаграмме в течение вегетационного периода отмечено три явных пика максимума осадков: конец июня, первая декада августа, конец августа и один сглаженный — в начале вегетационного периода в середине-конце мая.

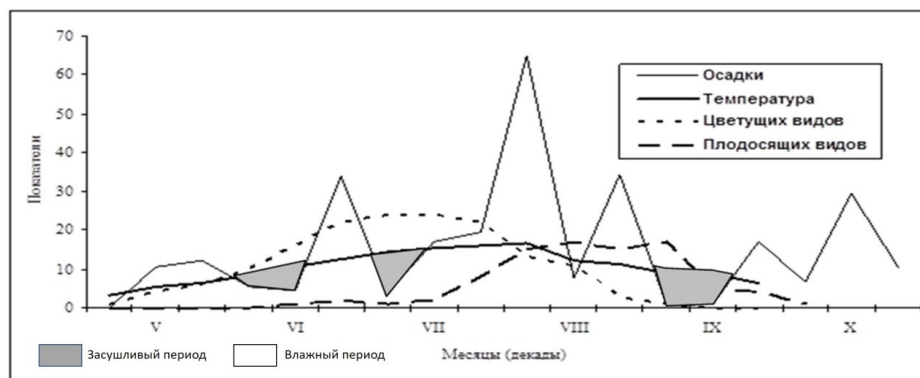


Рис. 5. Распределение осадков, ход среднедекадных температур воздуха и относительное число цветущих и плодоносящих видов растений на площадке № 4 в 2012 г.

Температурная кривая не имеет пиков и плавно выходит на максимальные показатели в последней декаде июля — в начале августа. При этом после обильных осадков в 2012 г. наступал засушливый период, сопровождающийся повышением температуры, что также способствовало обильному цветению и плодоношению. Следствием достаточного увлажнения явились пики цветения и плодоношения на всех площадках. Наибольшее количество цветущих видов растений приходится на начало — середину июля. В этот период показатели среднесуточных температур уже достаточно высоки, а почвенная влага накоплена благодаря осадкам в конце июня. Диаграмма свидетельствует о том, что кривые цветения без ярко выраженных вершин, сглаженные, коррелируют с кривой температуры, максимум цветущих видов наблюдается после периода с достаточным увлажнением.

Кривые плодоношения также в 2012 году не имеют явно выраженных пиков. На площадке № 4 плодоношение растянуто и имеет два неявных пика в середине августа и начале сентября. Нужно отметить, что на площадке № 4 преобладают травянистые растения разных сроков вегетации.

Кривые цветения и плодоношения на площадке № 4 наиболее показательны, т.к. здесь наблюдается большее количество видов и хорошо прослеживается зависимость кривых плодоношения и цветения от температуры и числа осадков: генеративные функции растений наиболее активны при максимальных температурах после периода с высоким уровнем осадков, когда в почве накоплено достаточно влаги.

Выводы из визуального анализа диаграмм подтверждаются проведенной статистической обработкой данных по индексу засушливости и числу плодоносящих и цветущих видов на феноплощадках за 1998 — 2015 гг. Достоверная корреляция индекса засушливости с годом показывает отрицательные связи со значениями от -0,23 до -0,36, что подтверждает тенденцию к аридизации климата выявленную выше другими методами. При этом наблюдаются отрицательные значения связи года с плодоношением (от -0,51 до -0,67), что показывает снижение плодоношения наблюдаемых видов.

Корреляция цветения с индексом засушливости показывает довольно сильные положительные связи (от 0,53 до 0,61) только на двух площадках: №3 — в последнюю декаду мая (0,53), №4 — последнюю декаду июня (0,61). Плодоношение с индексом засушливости показывает достоверную корреляцию в последней декаде августа (0,48) на площадке №2 и в последней декаде июля на 5 площадке. В эти сроки наблюдается массовое цветение и плодоношение большинства видов.

Однако, при анализе со смещением сроков фенофаз относительно сроков регистрации индекса засушливости, связи отмечаются на всех площадках и во всех декадах наблюдения фенофаз массового плодоношения и цветения (табл. 2, 3).

При смещении на 1 декаду на 2 площадке выявлены отрицательные связи: при высоком индексе засушливости в 3 декаде, число цветущих видов в первой декаде июня снижается. На 3 и 4 площадках связи положительные. Это связано, вероятно, с тем, что 2 площадка расположена в лесу с высоким уровнем затененности, что дополнительно повышает высокий индекс засушливости конца мая (рис. 5) и замедляет распускание цветочных почек в следующей декаде. На площадке №3 влаголюбивые виды начинают обильно цвести после первой декады июля с высоким уровнем засушливости. В условиях достаточно открытой пло-

щадки №4 при высоком уровне индекса засушливости в последнюю декаду июня возникают благоприятные условия для цветения видов в последующих декадах.

Высокий индекс засушливости второй декады июня приводит к повышению числа цветущих видов первой декады июля на 5 феноплощадке (Табл. 2).

Таблица 2

Коэффициент корреляции Спирмена при смещении показателей индекса засушливости и числа цветущих видов на феноплощадках (данные 1998-2015 гг., декады с 1 по 15 с мая по сентябрь)

Смещение/№Фпл.	1 Фплощ.	2 Фплощ.	3 Фплощ.	4 Фплощ.	5 Фплощ.
Смещение на 1 декаду (указана декада индекса засушливости)		-0,496947 (3 декада)	0,655220 (7 декада)	0,600324 (6 декада)	
Смещение на 2 декады					0,495071 (5 декада)
Смещение на 3 декады		0,484011 (2 декада)			0,537851 (8 декада)
Смещение на 4 декады			0,567600 (3 декада)		0,480766 (3 декада)

Анализ наступления фенофаз при смещении на 3 недели от декады индекса засушливости показывает корреляцию на площадке № 2, 5. При высоком индексе засушливости в середине мая в середине июня будет больше цветущих видов на 2 площадке. На площадке №5 высокий индекс засушливости середины июля вызовет высокую активность цветения в середине августа.

Смещение на 4 недели показывает зависимость цветения в первой декаде июля от высокой увлажненности конца мая на площадках № 3 и 5.

Корреляционный анализ при смещении сроков фенофазы «плодоношение» относительно регистрации сроков индекса засушливости дает больше достоверных результатов, особенно при смещении на 1 и 3 декады (Табл. 3.).

Таблица 3

Коэффициент корреляции Спирмена при смещении показателей индекса засушливости и числа плодоносящих видов на феноплощадках (данные 1998-2015 гг., декады с 1 по 15 с мая по сентябрь)

Смещение/№Фпл.	1 Фплощ.	2 Фплощ.	3 Фплощ.	4 Фплощ.	5 Фплощ.
Смещение на 1 декаду (указана декада индекса засушливости)	0,524661 (9 дек)	0,575657 (12 дек)	0,555347 (9 дек) 0,563115 (12 дек)		0,588427 (9 дек)
Смещение на 2 декады		0,552916 (9 дек)			
Смещение на 3 декады		0,472736 (9 дек)	0,515731 (9 дек)	0,621439 (9 дек)	-0,599562 (11 дек)
Смещение на 5 декад					0,500813 (8 дек)



При этом на всех площадках и во все сроки наблюдается положительная корреляция, кроме площадки №5. Здесь при повышении индекса засушливости в середине августа снижается число, плодоносящих видов в середине сентября. Очевидно, дополнительное увлажнение или понижение температур в конце лета не способствуют обильному плодоношению в конце вегетационного сезона.

**Выводы.** Показатели индекса засушливости могут быть использованы для объективной характеристики биотопов и прогноза семенной продуктивности растений. Цветение и плодоношение наступают через 1-3 декады после периода с высоким индексом засушливости. Отрицательный тренд индекса засушливости подтверждает тенденцию к аридизации климата Баргузинского заповедника. Отрицательный тренд между годом и числом плодоносящих видов демонстрирует снижение плодоношения наблюдаемых видов, что подтверждает положительные связи между индексом засушливости и числом плодоносящих видов.

### Литература

Ананина Т. Л., Ананин А. А. Изменение климата северо-восточного побережья Байкала за период 1955–2011 гг. // Природные комплексы Северо-Восточного Прибайкалья: труды Баргузинского государственного природного биосферного заповедника. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2013. Вып. 10. С. 177–184.

Ананин А. А., Ананина Т. Л., Дарижапов Е. А., Пузаченко А. Ю., Фадеев А. С. Влияние изменения климата на биоту Баргузинского заповедника // Влияние изменений климата на экосистемы. М.: Русский университет, 2001. Ч. 2. С. 1–8.

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

Бухарова Е. В. Мониторинг растительности в долине р. Давша (Баргузинский заповедник) // Растительность Байкальского региона и сопредельных территорий: Материалы Всероссийской школы-конференции с участием иностранных ученых (Улан-Удэ, 11–13 ноября 2013 г.). Улан-Удэ: Изд-во Бурят. гос. ун-та, 2013. С. 61–66.

Бухарова Е. В. Изучение и сохранение редких видов растений в Баргузинском заповеднике. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2014. 131 с.

Дре Ф. Экология. М.: Атомиздат, 1976. 165 с.

Елагин И. Н. Методика проведения и обработки фенологических наблюдений за деревьями и кустарниками в лесу // Фенологические методы изучения лесных биогеоценозов. Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1975. С. 3–21.

Инсаров Г. Э., Борисова О. К., Корзухин М. Д., Кудеяров В. Н., Минин А. А., Ольчев А. В., Семенов С. М., Сирин А. А., Харук В. И. Природные экосистемы суши // Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем. М.: РосГидромет, 2012. С. 190–265.

Преображенский С. М., Галахов Н. Н. Фенологические наблюдения. М., 1948. 156 с.

Фирсов Г. А., Фадеева И. В., Булыгин Н. Е. Парк и дендрарий Санкт-Петербургской лесотехнической академии как научный центр биологической и экологической фенологии / Г. А. Фирсов // Промышленная ботаника. 2009. Вып. 9. С. 48–55.

Шенников А. П. Введение в геоботанику. Л.: Изд-во ЛУ им. А. А. Жданова, 1964. С. 124.

**MONITORING OF PHENOLOGICAL PHENOMENA  
IN PLANT LIFE IN THE BARGUZINSKY RESERVE**

**E. V. Bukharova, I. I. Kurkina**

**Evgenyia V. Bukharova**

candidate biol. of sciences, senior researcher,  
FSE "Zapovednoe Podlemorye  
670045, Ulan-Ude, Komsomolskaya str., 44-64  
E-mail.ru: darakna@mail.ru

**Irina I. Kurkina**

researcher, FSE "Zapovednoe Podlemorye  
670045, Ulan-Ude, Komsomolskaya str., 44-64  
E-mail: irina--kurkina@yandex.ru

Phytophenological observations are carried on the 81 species out on 5 permanent sample plots using the method of I. N. Beideman in the reserve. The indicator of dryness was chosen to analyze the impact of weather conditions on plants. The phase of " blooming" and "fruiting" was chosen as an important phenological stages. The negative correlation between the year and the index of aridity revealed as a result of the correlation analysis confirms the tendency to aridization of the climate in Barguzinsky reserve. The analysis of time-shifting phenophases relatively the registration time of the aridity index shows the correlation of mass fruiting and blooming phenophases is observed at all sites and for the all ten-day periods of observation. The negative correlation between the year and the number of species bearing fruit indicates a decrease in the fertility of the observed species, which confirms the positive relationship between the dryness index and the number of species bearing fruit. The analysis showed that the values of the aridity index can be used for objective characteristics of biotopes and the forecast of productivity of plant seeds.

**Keywords:** aridity index; biotope; blooming; correlation analysis; climatic factors; fruiting; nature reserve; monitoring; phenology; phenophase.