

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

БЮЛЛЕТЕНЬ
ГЛАВНОГО
БОТАНИЧЕСКОГО
САДА

Выпуск 94



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА

1974

ИНТРОДУКЦИЯ И АККЛИМАТИЗАЦИЯ

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В БОТАНИЧЕСКИХ САДАХ

Г. Н. Зайцев

При фиксации фенодат возникают различные ошибки, которые обуславливаются следующими причинами: 1) слишком большими интервалами между наблюдениями; 2) возможной неточностью определения систематической принадлежности наблюдаемых особей; 3) субъективностью оценки фенофаз; 4) влиянием микроразностей местных экологических условий; 5) различной наследственностью особей в пределах вида. Первые три источника ошибок зависят от наблюдателя и организационных причин, их влияние может быть устранено или значительно уменьшено. Две другие причины влияют постоянно на все наблюдения, которые ведутся по одному или небольшому числу экземпляров каждого вида, и практически их действие не может быть удалено. Доля влияния подобных факторов может быть количественно установлена специальными опытами на достаточном числе повторностей с последующим применением дисперсионного анализа. Разница в датах наступления одинаковой фенофазы у отдельных экземпляров одного вида иногда достигает месяца, что является слишком большим отклонением, чтобы с ним не считаться. Однако увеличение числа экземпляров, наблюдаемых по каждому виду, сильно затрудняет ведение фенологических наблюдений. Для того чтобы даты фенофаз были статистически достоверными, необходимо наблюдать такое число экземпляров, которое достаточно для достоверности наиболее вариабельной из этих фенофаз. В большинстве случаев удовлетворительная достоверность данных может быть получена при наблюдении 20 экземпляров одного и того же сорта или вида.

В альтернативной ситуации следует предпочитать качество получаемых научных данных их количеству, т. е. лучше наблюдать меньше видов, но более тщательно, чем большое их число, но поверхностно. Это относится и к другим выводам, которые обычно делают при оценке результатов интродукции (зимостойкость, пригодность для использования в том или ином качестве и др.) и которые также следует основывать на достаточном числе экземпляров каждого интродуцента.

Ошибки, вызываемые слишком большим интервалом наблюдений, легко могут быть уменьшены сокращением этого интервала. При наблюдениях через каждые пять дней фенодаты надежны лишь на 20%, а при недельных интервалах надежные фенодаты составляют лишь 14% от общего их числа. Фиксировать фенофазы следует сразу при их наступлении, для чего необходимо возможно чаще наблюдать биологические объекты. Рекомендуются фиксировать наступление фенофазы одной календарной датой — это значительно удобнее для наблюдателя технически и для

последующей математической обработки данных. Сокращает число ошибок также способ записи фенодат целиком арабскими цифрами, например 5.02.73, вместо 5.II—73, или 1.04, вместо 1/IV.

Наиболее напряженными по интенсивности прохождения и смены фенофаз в умеренной зоне северного полушария являются периоды с конца марта до середины июля и с середины августа до середины октября. В это время желательны более частые посещения объектов фенонаблюдений.

При наблюдениях группы особей одного вида не рекомендуется фиксировать фенодату как визуальную среднюю, следует записывать дату по каждому экземпляру отдельно, а при дальнейшей обработке данных получить среднюю фенодату.

Чем продолжительнее ряд фенонаблюдений, тем больше становится число причин, вызывающих вариабельность фенодат, так как на них начинают влиять циклы солнечной активности, возраст биологических объектов и другие факторы. Поэтому в интродукционной работе, когда важно оценить возможно большее число экзотов, нецелесообразно вести фенонаблюдения более десяти лет, т. е. примерно в течение одного одиннадцатилетнего цикла изменения солнечной активности. Однако более продолжительные фенонаблюдения по одной совокупности видов, бесспорно, имеют большую научную ценность. Поэтому в каждом интродукционном учреждении для биогеографических исследований следует наблюдать по унифицированной методике одинаковые по зонам небольшие комплекты видов, представленные примерно одновозрастными растениями в течение максимально продолжительного времени, а прочие виды, являющиеся объектами текущей интродукционной работы, наблюдать около десяти лет.

Цели и этапы обработки. Собранные в полевых журналах фенодаты еще нельзя назвать в полной мере научными фактами, они, скорее, материал для них. Лишь после обработки фенодат методами математической статистики выясняется степень их достоверности, и они становятся научными фактами. Целесообразно различать два этапа математической обработки фенодат. На этапе первичной обработки фенонаблюдений достаточно вычислить среднюю арифметическую и ее ошибку, дисперсию, среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации, благодаря чему получают количественную оценку надежности исходных данных. Результаты первичной обработки фенодат могут быть также использованы как справочный материал по фенологии наблюдаемых в данной местности растений.

Первичная математическая обработка фенологических наблюдений — довольно трудоемкая работа, ее рекомендуется выполнять при большом объеме данных на электронно-вычислительных машинах, что одновременно значительно уменьшает число ошибок в обработке.

Вне зависимости от цели дальнейшей обработки рекомендуется составить ряды распределения фенодат по каждой фенофазе, чтобы получить представление о возможностях применения к ним тех или иных биометрических методов.

На втором, специальном этапе научной обработки фенологического материала, в отличие от первого этапа, необходимо поставить определенную цель или выдвинуть рабочую гипотезу, которая далее принимается или опровергается методами биометрии с использованием исходных данных, полученных в результате первичной обработки. Например, на втором этапе обработки может быть выдвинуто предположение о существовании причинной связи между двумя фенофазами, степень силы которой устанавливается методами корреляционного или дисперсионного анализа. Часто интересно проверить, различаются ли существенно два географических пункта по времени наступления фенофаз, что определяется при помощи статистических критериев различия. На втором этапе может также изучаться динамика временного ряда фенофаз с целью планирования

частоты посещаемости участков для фиксации фенодат или для выяснения связи общего хода фенофаз с климатическими факторами данной местности.

Подготовка фенодат к математической обработке. Для математической обработки фенодат, относящихся к различным регионам, необходима унификация методики подготовительной работы.

Фенодаты перед обработкой следует проверить на предмет выявления грубых ошибок и пропусков. Для вычисления статистических показателей фенодаты переводятся в условные числа по табл. 1, в которой дни года отсчитываются с 1 марта, благодаря чему вычисления проводятся со сравнительно небольшими числами; последний день февраля завершает таблицу, поэтому она может применяться и для високосных лет, причем с гораздо большим удобством, чем таблица, предлагаемая Ф. Шелле [1], в которой дни года отсчитываются с 1 января. На отдельном бланке размером в лист писчей бумаги выписываются, в условных числах столбиками по годам, все фенодаты одного наблюдаемого экземпляра, под ними записывают вычисленные показатели. Возможна обработка на ЭВМ непосредственно календарных дат с программным их кодированием и декодированием, однако фенодаты более удобно переводить и записывать на бланки в условных числах по табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Таблица для перевода календарных дат в непрерывный ряд

Месяцы											
III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II
дни											
1	32	62	93	123	154	185	215	246	276	307	338
2	33	63	94	124	155	186	216	247	277	308	339
3	34	64	95	125	156	187	217	248	278	309	340
4	35	65	96	126	157	188	218	249	279	310	341
5	36	66	97	127	158	189	219	250	280	311	342
6	37	67	98	128	159	190	220	251	281	312	343
7	38	68	99	129	160	191	221	252	282	313	344
8	39	69	100	130	161	192	222	253	283	314	345
9	40	70	101	131	162	193	223	254	284	315	346
10	41	71	102	132	163	194	224	255	285	316	347
11	42	72	103	133	164	195	225	256	286	317	348
12	43	73	104	134	165	196	226	257	287	318	349
13	44	74	105	135	166	197	227	258	288	319	350
14	45	75	106	136	167	198	228	259	289	320	351
15	46	76	107	137	168	199	229	260	290	321	352
16	47	77	108	138	169	200	230	261	291	322	353
17	48	78	109	139	170	201	231	262	292	323	354
18	49	79	110	140	171	202	232	263	293	324	355
19	50	80	111	141	172	203	233	264	294	325	356
20	51	81	112	142	173	204	234	265	295	326	357
21	52	82	113	143	174	205	235	266	296	327	358
22	53	83	114	144	175	206	236	267	297	328	359
23	54	84	115	145	176	207	237	268	298	329	360
24	55	85	116	146	177	208	238	269	299	330	361
25	56	86	117	147	178	209	239	270	300	331	362
26	57	87	118	148	179	210	240	271	301	332	363
27	58	88	119	149	180	211	241	272	302	333	364
28	59	89	120	150	181	212	242	273	303	334	365
29	60	90	121	151	182	213	243	274	304	335	(366)
30	61	91	122	152	183	214	244	275	305	336	
31		92		153	184		245		306	337	

Первичная обработка невзвешенного ряда наблюдений. Большинство результатов фенонаблюдений, накопленных к настоящему времени ботаническими учреждениями, представляют собой невзвешенные ряды, так

как наблюдения ведутся за отдельными особями в течение легко observable ряда лет.

Приводим пример вычисления статистических показателей дат зацветания ольхи кустарниковой в Ленинграде (левый столбец цифр — невзвешенный ряд данных):

Дата зацветания в днях от 1 марта *, x	$a = x - 75$	a^2	Дата зацветания в днях от 1 марта *, x	$a = x - 75$	a^2
65	-10	100	73	-2	4
67	-8	64	78	+3	9
69	-6	36	81	+6	36
70	-5	25	85	+10	100
71	-4	16	86	+11	121
72	-3	9	87	+12	144
72	-3	9			
73	-2	4			
			Сумма: 1049	-1	677

* См. табл. 1.

Далее приводится алгоритм вычисления основных статистических параметров невзвешенного ряда наиболее экономичным способом в расчете на то, что исследователь располагает лишь простейшими вычислительными средствами: счетами, арифмометром и таблицей квадратных корней. Дисперсия здесь вычисляется по способу условной средней. Расчеты целесообразно проводить в следующей последовательности [2]:

1. Суммируем варианты (x) и делим их на число наблюдений (N), получаем среднюю арифметическую (M):

$$M = \frac{\sum x}{N} = \frac{1049}{14} = 74,9.$$

2. Округляем M до ближайшего целого числа (в данном случае $A = 75$), которое используем для получения отклонений вариантов по формуле $a = x - A$.

Суммируя отклонения с учетом их знаков, получаем: $\sum a = -1$. Проверим вычисления по формуле: $\sum a = \sum x - N \cdot A$; $-1 = 1049 - 14 \cdot 75$; $-1 = -1$. Равенство обеих частей уравнения соблюдается; следовательно, вычисления до сих пор сделаны верно.

3. Возводим в квадрат условные отклонения и суммируем их: $\sum a^2 = 677$. Возведение отклонений в квадрат и их суммирование рекомендуется повторить для проверки.

4. Дисперсию определяем по формуле

$$\sigma^2 = \frac{\sum a^2 - \frac{(\sum a)^2}{N}}{N - 1} = \frac{677 - \frac{(-1)^2}{14}}{14 - 1} = 25,07,$$

откуда среднее квадратическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{25,07} = 7,2.$$

5. Ошибку средней арифметической находим по формуле

$$m_M = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = \frac{7,2}{\sqrt{14}} = \pm 1,9.$$

6. Коэффициент вариации равен:

$$V = \frac{100\sigma}{M} = \frac{100 \cdot 7,2}{74,9} = 9,6\%.$$

7. Находим доверительный интервал средней арифметической, для чего ошибку средней арифметической умножаем на два, при суммировании

полученного числа со средней арифметической определяем верхнюю границу, а при вычитании — нижнюю:

$$M + 2m_M = 74,9 + 2 \cdot 1,9 = 78,7; \quad M - 2m_M = 74,9 - 2 \cdot 1,9 = 71,1.$$

Таким образом, установлены основные параметры невзвешенного ряда, которые в данном случае можно истолковать примерно так. В среднем за 14 лет ольха кустарниковая (*Alnus fruticosa* Rupr.) в Ленинграде зацветает через 74,9 дня от 1 марта, т. е. 13,9 мая, округленно — 14 мая; с колебаниями в сторону раннего зацветания до 71,1 дня, что соответствует 10 мая и до 78,7 дня в сторону позднего зацветания, что соответствует 18 мая.

Варьирование дат зацветания сравнительно невелико ($V=9,6\%$), доверительный интервал средней небольшой, поэтому полученные параметры вполне достоверны, а наблюдения по данному виду можно прекратить, если они ведутся в плане интродукционной фенологии.

Иногда прибегают к примитивной обработке фенодат, когда за среднюю принимают полусумму крайних отклонений из ряда наблюдений. Такая «средняя» построена на самых ненадежных числах из имеющихся. В этом случае лучше принимать за среднюю не полусумму крайних значений, а медиану ряда, т. е. центральное число в ранжированном ряду наблюдений. Например, из пятилетних наблюдений некоторой фенофазы: 1, 18, 20, 21 и 23 числа мая, медианой является дата 20 мая, которая ближе к средней арифметической (17 мая), чем полусумма крайних значений (12 мая).

В рассматриваемом примере при четном числе вариант ряда медиана (Me) равна полусумме двух центральных вариант:

$$Me = \frac{72 + 73}{2} = 72,5.$$

Номер медианной варианты можно найти также по формуле

$$i = 0,5(N + 1).$$

Первичная обработка взвешенного ряда. В фенологических явлениях участвуют два фактора: изменение метеофакторов и разнообразная реакция на это растений, которые весьма изменчивы и состоят из многих компонентов, что необходимо учитывать в зависимости от цели наблюдений.

В ряде, взвешенном только числом лет, растение играет роль прибора или индикатора для регистрации совокупного изменения метеофакторов. Поскольку особь для фенонаблюдений выбирается случайно, без изучения ее наследственности, ценность ее в роли индикатора не очень велика. Такие особи-индикаторы, например, для сельскохозяйственной фенологии по каждому виду можно подобрать по критерию максимального совпадения фенодат этой особи со средними арифметическими фенофаз, взвешенных по числу лет и экземпляров. Поскольку приборы для комплексной или интегральной оценки состояния метеофакторов пока отсутствуют, фенонаблюдения растений-индикаторов имеют важное значение. Неудивительно поэтому, что при обработке фенонаблюдений, полученных подобным путем, неизменно обнаруживается весьма тесная связь сроков наступления фенофаз и метеорологических явлений, так как при этом было исключено участие наследственных особенностей растения и экологических свойств места его произрастания.

По ряду, взвешенному только числом экземпляров, можно составить представление о том, как разнообразна данная популяция по своей реакции на некоторое непродолжительное сочетание метеорологических факторов.

Лишь по ряду, взвешенному и числом лет, и числом экземпляров, становится возможным изучить обе стороны фенологических явлений: наследственные особенности реакции вида на изменение метеорологических факторов в данной местности в их сочетании. Таким образом, результаты фенонаблюдений по одной особи на вид содержат больше метеорологической информации, чем биологической. Наблюдения, проводимые по многим особям, но в течение, например, одного сезона, напротив, содержат больше биологической информации. Фенонаблюдения, проводимые по достаточно большому числу растений и в течение репрезентативного ряда лет, отражают обе стороны фенологических явлений и рекомендуются для научных исследований в этой области. Фенонаблюдения, взвешенные по числу лет и числу экземпляров, удобнее проводить по каждой фазе отдельно по примеру, где приведены иллюстрированные данные о времени начала цветения некоторого вида (табл. 2). Общее число зацветших экземпляров подсчитывается при каждом ежедневном посещении и записывается по годам накопленными рядами, т. е. нарастающим итогом в графах 3 и последующих. При таком способе фиксации фенодат отпадает необходимость в какой-либо маркировке особей наблюдаемого массива, что избавляет от громоздкой работы по изготовлению, развешиванию и возобновлению этикеток. Табл. 2 заполняется непосредственно при фиксации фенодат и служит формой полевого журнала для фенонаблюдений, взвешенных по числу лет и числу экземпляров.

Таблица 2

Пример математической обработки результатов фенонаблюдений, взвешенных по числу лет и числу экземпляров

Дата	День от 1 марта	1960 г.	1961 г.	1962 г.	1963 г.	1964 г.	1965 г.	1966 г.	Первое суммирование	Второе суммирование	Разность частот графы 10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
26.04	57	0	2	1	0	3	0	2	8	8	8
27.04	58	1	3	5	1	3	0	2	15	23	7 *
28.04	59	2	5	12	1	7	0	4	31	54	16
29.04	60	4	7	24	5	19	10	12	81	135	50
30.04	61	6	18	39	16	38	12	35	164	299	83
1.05	62	25	33	43	21	41	31	40	234	533	70
2.05	63	41	40	50	37	50	43	44	305	838	71
3.05	64	47	42	50	46	50	47	44	326	1164	21
4.05	65	48	49	50	50	50	50	50	347	1511	21
5.05	66	50	50	50	50	50	50	50	350	1861	3
Сумма									A=1861	B=5426	N=350

* Разность последующей и предыдущей частот из графы 10: 15 - 8 = 7.

По малоизвестному методу [3], приведенному дальше, вычисляются все требуемые статистические показатели непосредственно по накопленным рядам полевых данных (табл. 2) без перевода их в обычные ряды. Если же это потребуются (например, для дисперсионного анализа), то обычные ряды получают вычитанием предыдущего числа накопленного ряда из последующего (графа 12).

Вычислим для примера основные биометрические параметры совокупности фенодат за 1960—1966 гг., приведенных в графе 10 табл. 2.

1. Средняя арифметическая:

$$M = x_N - c \left(\frac{A}{N} - 1 \right),$$

где M — средняя арифметическая; x_N — последний член ряда графы 2; c — интервал наблюдений (в данном случае один день); A — сумма чисел

графы 10 (она должна быть равна последнему числу графы 11); N — число фенодат (равно последнему числу ряда из графы 10 или сумме чисел графы 12).

$$M = 66 - 1 \left(\frac{1861}{350} - 1 \right) = 61,683$$

или 30,7 апреля, или, округляя до целого числа, — 1 мая.

2. Дисперсия:

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= \frac{c^2}{N-1} \left[2B - A \left(1 + \frac{A}{N} \right) \right] = \frac{1^2}{350-1} \times \\ &\times \left[2 \cdot 5426 - 1861 \left(1 + \frac{1861}{350} \right) \right] = 11,75 \text{ дня,} \end{aligned}$$

где c — интервал наблюдений; B — сумма чисел графы 11; A — сумма чисел графы 10, или последний член ряда из графы 11; N — число фенодат.

3. Среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{11,75} = 3,4 \text{ дня.}$$

4. Ошибка средней арифметической:

$$m_M = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = \frac{3,4}{\sqrt{350}} = 0,18 \text{ дня.}$$

5. Коэффициент вариации:

$$V = \frac{100\sigma}{M} = \frac{100 \cdot 3,4}{61,7} = 5,5\%.$$

При обработке данных табл. 2 обычными методами биометрии следует использовать числа графы 12. Среднюю арифметическую и прочие параметры по отдельным годам наблюдений можно вычислить по изложенной здесь схеме, используя данные графы 2 и графы соответствующего года, принимая в ней за N последнее число ряда (здесь оно за все годы равно 50).

Оценка надежности массива фенодат. Фенонаблюдения проводятся и обобщаются обычно по определенной совокупности видов, например, составляющих дендрарий сада. Поэтому можно говорить о надежности массива фенодат в целом по конкретному участку. По наблюдаемому массиву видов полученные фенодаты могут быть оценены по их надежности по формуле умножения вероятностей с учетом того, что причины рассматриваемых ниже ошибок по смыслу независимы друг от друга:

$$P_0 = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \dots P_k,$$

где P_0 — надежность массива фенодат в целом; P_1 — P_k — доли надежности по каждой из числа причин, влияющих на надежность фенодат.

Пример (все данные взяты произвольно): 1) виды коллекции посекаются для фенонаблюдений через два дня, вследствие чего фенодаты лишь 50% видов регистрируются точно и $P_1=0,5$; 2) в наблюдаемом массиве видов около 10% не проверено в систематическом отношении, отсюда $P_2=0,9$; 3) при оценке состояния фенофаз наблюдается около 10% ошибок, $P_3=0,9$; 4) влияние микроразностей почвы и климата уменьшает надежность фенодат до $P_4=0,9$; 5) различия в наследственности особей делают фенодаты надежными лишь на $P_5=0,8$.

Отсюда общая надежность таких фенодат:

$$P_0 = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 \cdot P_5 = 0,5 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,8 = 0,29$$

или 29%.

Практически установлено, что при $P_0 \geq 10\%$ массив фенодат следует

считать пригодным для обработок. При $P < 10\%$ массив фенодат начинает мало отличаться от случайного набора чисел, из которого трудно извлечь какую-либо полезную информацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шнелле Ф. 1961. Фенология растений. Л., Гидрометеиздат.
2. Зайцев Г. Н. 1973. Методика биометрических расчетов. Математ. статистика в эксперим. ботанике. М., «Наука».
3. Клемм Л. 1971. Математические методы статистического контроля в текстильной промышленности. М., «Легкая индустрия».

Главный ботанический сад
Академии наук СССР

МЕТОДИКА ФЕНОНАБЛЮДЕНИЙ ЗА ПАПОРОТНИКАМИ СЕМЕЙСТВА POLYPODIACEAE R. Br.

Ю. А. Котузов

Ритм развития растений — основной показатель их приспособленности к новым условиям [1]. Важным методом его изучения являются фенологические наблюдения, позволяющие правильно оценить результаты акклиматизации. Однако до настоящего времени для папоротников нет методики фенологических наблюдений, полностью отражающей сезонный цикл их развития.

И. Н. Бейдеман [2] предлагает отмечать для папоротников следующие фенофазы: появление вай, полное распускание вай (развертывание скрученной вайи), появление на нижней стороне вайи спорангиев со спорами, созревание спор, отмирание (засыхание вегетативных частей). Взяв за основу методику И. Н. Бейдемана, мы проверили ее на практике в Алтайском ботаническом саду АН КазССР в течение 1961—1972 гг.

Объектами наблюдений были следующие виды папоротников: *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, *Thelypteris phegopteris* (L.) Slosson in Rydb., *Asplenium septentrionale* (L.) Hoffm., *Athyrium rubripes* Kom., *A. alpestre* (Hoppe) Ryl., *Matteuccia struthiopteris* (L.) Todaro, *Cystopteris filix-fragilis* (L.) Borb., *Woodsia ilvensis* R. Br., *Polystichum braunii* (Spenn.) Fée, *P. lonchitis* (L.) Roth, *Dryopteris austriaca* (Jacq.) Woynar, *D. filix-mas* (L.) Schott, *D. carthusiana* (Vill.) H. P. Fuchs, *Polypodium vulgare* L., *Gymnocarpium dryopteris* (L.) Newm., *Gymnocarpium robertianum* (Hoffm.) Newm.

В процессе работы в методику наблюдений были внесены изменения и дополнения, позволившие детальнее показать развитие растений.

Сезонный цикл развития папоротников был разбит нами на три периода (с семью фазами и двумя подфазами).

I период — начало вегетации и сезонное развитие вай:

I/1 — фаза начала вегетации;

I/2 — фаза интенсивного роста вай;

I/2,1 — подфаза начала интенсивного роста вай;

I/2,2 — подфаза конца интенсивного роста вай;

I/3 — фаза окончания роста вай;

I/4 — фаза осеннего расцветивания вай;

I/5 — фаза отмирания вай.

II период — спороношение:

II/6 — фаза появления соросов;

II/7 — фаза спороношения (раскрытие спорангиев).

III период — подготовка растений к зиме.