



УДК 630*181.8 : 582.47

Использование методик обработки данных фенологических наблюдений (на примере представителей семейства *Pinaceae* Lindl.)

С. М. Лазарева

Марийский государственный технический университет,
Ботанический сад-институт, Йошкар-Ола
E-mail: svel1967@mail.ru

Аннотация. Приведены данные метеорологических и фенологических наблюдений за период 1968–2010 гг. над 31 видом голосеменных растений, выращиваемых в дендрарии Ботанического сада-института МарГТУ. Дан сравнительный анализ стандартных и модифицированных частных методик математической обработки данных фенологических наблюдений на примере изученных видов.

Ключевые слова: хвойные интродуценты, фенологические наблюдения, фенодата, феноритмотип, фенологическое расстояние, фенологическая устойчивость.

Введение

История развития человеческой цивилизации связана с успехами в области интродукции растений, всестороннего изучения и промышленного освоения отдельных представителей местной и иноземной флоры. На сегодняшний день описаны не более 350 тыс. видов сосудистых растений. В то же время в интродукционных центрах введены в культуру чуть более 80 тыс. [4; 15], широкое использование в практике сельского хозяйства, выращивания технического и лекарственного сырья, масличных культур, каучуконосов получили только 1,5 тыс. видов. Коммерческий ассортимент декоративных растений богаче и достигает 5 тыс. видов [1]. Таким образом, потенциал флористического богатства нашей планеты изучен недостаточно и используется не более чем на 0,02 %.

Основными причинами медленного внедрения в производственные культуры новых видов растений, на наш взгляд, являются слабая методологическая база, отсутствие теории, наличие множества частных методик.

На сегодня основным критерием оценки перспективности таксона многими интродукторами признана степень соответствия динамики его сезонного развития метеорологическим условиям, складывающимся в регионе его культивирования [1; 8; 9; 14; 16; 17; 19; 23]. С фенологическими характеристиками растений увязывают зимостойкость, засухоустойчивость, морфологические характеристики надземных органов, качественные и количественные показатели генеративной сферы [9; 16; 19; 23]. Несмотря на различные методические

подходы, большинство авторов предлагают интегральную оценку степени адаптации или акклиматизации растений по комплексу признаков, одним из которых остаются фенологические показатели.

Материалы и методы

В качестве объектов фенологических наблюдений были выбраны первичные интродуценты семейства *Pinaceae* Lindl., выращиваемые в дендрарии Ботанического сада-института (БСИ) Марийского государственного технического университета. Сведения о происхождении, возрасте, зимостойкости хвойных приведены в табл. 1.

Контрольными образцами служили деревья *Abies sibirica* Ledeb., *Picea × fennica* (Regel) Kom. и *Pinus sylvestris* L. местной семенной репродукции в возрасте 60–100, 120–160 и 160–200 лет соответственно.

Характеристика метеорологических условий приведена по данным метеопоста БСИ за период с 1968 по 2010 гг. Даты устойчивого перехода среднесуточных температур через +0 °С, +5 °С и +10 °С определены на основании рекомендательного письма Горьковского бюро погоды [20].

Продолжительностью теплого периода (далее ПТ) принято число дней между датами устойчивого перехода среднесуточных температур через +0 °С, продолжительностью вегетационного периода (далее ПВ) – через +5 °С, продолжительностью периода активной вегетации (далее ПАВ) – через +10 °С.

Таблица 1

Характеристика экзотов – объектов исследования

Название вида	Происхождение образца	Возраст на конец 2010 г., лет	Зимостойкость, баллов
<i>Abies alba</i> Mill.	Ивано-Франковская обл., растения	33	I–V
<i>A. balsamea</i> (L.) Mill.	Липецкая ЛОСС, растения	63	I
<i>A. concolor</i> (Gordon) Lindl. ex Hildebr.	Липецкая ЛОСС, растения	38	I–II
<i>A. fraseri</i> (Pursh) Poir.	Липецкая ЛОСС, растения	38	I
<i>A. holophylla</i> Maxim.	Липецкая ЛОСС, растения	38	I
<i>A. lasiocarpa</i> (Hook.) Nutt.	Липецкая ЛОСС, растения	38	I
<i>A. nephrolepis</i> (Trautv. ex Maxim.) Maxim.	Неизвестно	~ 58	I
<i>A. sibirica</i> subsp. <i>semenovii</i> (B. Fedtsch.) Farjon	Неизвестно	-	I
<i>A. veitchii</i> Lindl.	Липецкая ЛОСС, растения	40	I
<i>Picea asperata</i> Mast.	ГБС, г. Москва, растения	28	I–II
<i>P. glauca</i> (Moench) Voss	ГБС, г. Москва, растения	30	I
<i>P. glehnii</i> (F. Schmidt) Mast.	Неизвестно	~55	I
<i>P. jezoensis</i> (Siebold & Zucc.) Carrière	Дальний Восток, семена	60	I
<i>P. mariana</i> (Mill.) Britton, Sterns & Poggenb.	ГБС, г. Москва, растения	32	I
<i>P. obovata</i> Ledeb.			I
<i>P. omorika</i> (Pancic) Purk.	ГБС, г. Москва, растения	30	I
<i>P. pungens</i> Engelm.	Липецкая ЛОСС, растения	54	I
<i>P. rubens</i> Sarg.	ГБС, г. Москва, растения	29	I
<i>P. schrenkiana</i> Fisch. & C. A. Mey.	г. Хорог, растения	28	IV–VI
<i>P. banksiana</i> Lamb.	Орловская ЛОСС	~69	I
<i>P. cembra</i> L.	Ивано-Франковская обл., растения	37	I
<i>P. densiflora</i> Siebold & Zucc.	Дальний Восток, семена	39	I
<i>P. koraiensis</i> Siebold & Zucc.	Дальний Восток, семена	56	I
<i>P. mugo</i> Turra	Липецкая ЛОСС, семена	43	I
<i>P. peuce</i> Griseb.	ГЛТА, г. Санкт-Петербург, семена	37	I
<i>P. pumila</i> (Pall.) Regel	Магаданская обл., семена	33	I
<i>P. sibirica</i> Du Tour	Раифский дендрарий, растения	74	I
<i>P. strobus</i> L.	г. Вильнюс, семена	43	I

Примечания: ЛОСС – Лесная опытно-селекционная станция; ГБС – Главный ботанический сад РАН; ГЛТА – Государственная лесотехническая академия

Под активными температурами (далее АТ) +0 °С, +5 °С и +10 °С понимаются среднесуточные температуры выше +0 °С, +5 °С и +10 °С, на основе которых рассчитана обеспеченность теплом ПТ, ПВ и ПАВ как сумма соответствующих среднесуточных температур [21].

Под эффективными температурами (далее ЭТ) понимается количество тепла, выраженное суммой среднесуточных температур воздуха, уменьшенных на значение биологического минимума температур [21]. Так как в имеющейся литературе нами не найдены значения биологического минимума тепла для отдельных фенологических фаз хвойных растений, расчёты данного показателя произведены по условным базовым минимумам +5 °С и +10 °С и выражены в градусо-днях. Условия увлажнения ПТ, ПВ и ПАВ оценены по значению гидротермического коэффициента Г. Т. Селянинова [21].

Фенологические наблюдения проводили по методике Главного ботанического сада РАН

[17] с 1976 г. по 2010 г. Данные наблюдений 1962–1975 гг. идентифицированы по диагностическим признакам и приведены в соответствии с условными обозначениями выше указанной методики.

Базовыми методиками обработки данных фенологических наблюдений были следующие. Статистические показатели средних многолетних фенодат рассчитаны методами описательной статистики с переводом конкретной календарной даты в число дней с первого марта [7] и первого января [8]. Феноритмотип и фенологическое расстояние определяли по методике А. Звиргзда, М. Кулитис-Авены [8]. Для статистической обработки использованы алгоритмы расчётов основных статистических показателей [7; 12]. Уровень изменчивости анализируемых признаков оценён по шкале Г. Н. Зайцева [7]. Доля влияния фактора на уровень изменчивости признака рассчитана по Плохинскому [12]. Основной объём обработки

данных фенологических наблюдений за хвойными растениями БСИ и метеорологических показателей пункта интродукции выполнен с использованием прикладной программы MS Excel 2010 [17] на 95%-ном уровне надежности.

Определение систематической принадлежности образцов коллекции хвойных интродуцентов дендрария БСИ проводили М. С. Александрова, В. А. Крейер, С. М. Лазарева по имеющимся источникам [2; 3; 5; 6; 10; 11; 13; 22; 24–28]. Номенклатура выверена по базе данных сосудистых растений Королевского ботанического сада Кью «The Plant List» [29].

Результаты и обсуждение

Территория Республики Марий Эл входит в умеренный климатический пояс, район с умеренно-холодной зимой, область недостаточного увлажнения. Основные показатели климата за период 1968–2010 гг. следующие. Среднегодовая температура воздуха составляет $+3,6 \pm 0,19$ °С. Средняя годовая сумма осадков – $580 \pm 30,2$ мм, в том числе 206 мм приходится на зимний период, 379 мм – на ПТ, 307 мм – ПВ и 250 мм – ПАВ. Абсолютный температурный минимум $-44,6$ °С, абсолютный максимум $+40,1$ °С. Продолжительность ПТ составляет $216 \pm 2,3$ дней, ПВ – $175 \pm 2,4$ дней, ПАВ – $138 \pm 2,4$ дней. Средние даты перехода среднесуточных температур воздуха через $+0$ °С приходятся весной на 29 марта, осенью – 1 ноября; через $+5$ °С – 16 апреля и 7 октября; через $+10$ °С – 7 мая и 21 сентября. Обеспеченность теплом характеризуется следующими показателями: сумма $AT+0$ °С – $2582 \pm 35,3$ °С, $AT+5$ °С – $2431 \pm 36,6$ °С, $AT+10$ °С – $2046 \pm 46,1$ °С, сумма $ЭТ+5$ °С – $1583 \pm 32,3$

градусо-дня, $ЭТ+10$ °С – $834 \pm 25,8$ градусо-дня. Из анализируемых 43 лет 4,5 % были переувлажнёнными, 23 % – с достаточным увлажнением, 14 % – со средним увлажнением, 42 % – с недостаточным увлажнением, 7 % – со слабой засухой, 7 % – со средней засухой и 2,5 % – с сильной засухой в ПАВ. Среднестатистические подекадные показатели метеорологических условий приведены на климатодиаграмме (рис.).

Таким образом, основными лимитирующими факторами для прохождения полного цикла развития хвойных интродуцентов в БСИ являются зимние и летние температурные экстремумы, частая повторяемость комплекса условий недостаточного увлажнения.

Средние фенодаты со значением стандартной ошибки образцов хвойных деревьев БСИ приведены в табл. 2. Следует отметить, что данные статистические показатели, как и значения стандартного отклонения, остаются неизменными независимо от того, с какой точки начинается отсчёт числа календарных дней до наступления фенологической фазы – с 1 января, 1 марта или 1 апреля. В то же время значения коэффициентов вариации и точности опыта могут отличаться в 5 и более раз (табл. 3). Подобный подход к переводу фенодаты в число календарных дней с начала какого-либо месяца упрощает процедуру предварительных расчётов, но не отражает сути биологических процессов. На наш взгляд, более логично выражать фенодату через число календарных дней с даты устойчивого перехода среднесуточных температур через $+0$ °С или биологический минимум тепла для рассматриваемой фенофазы.

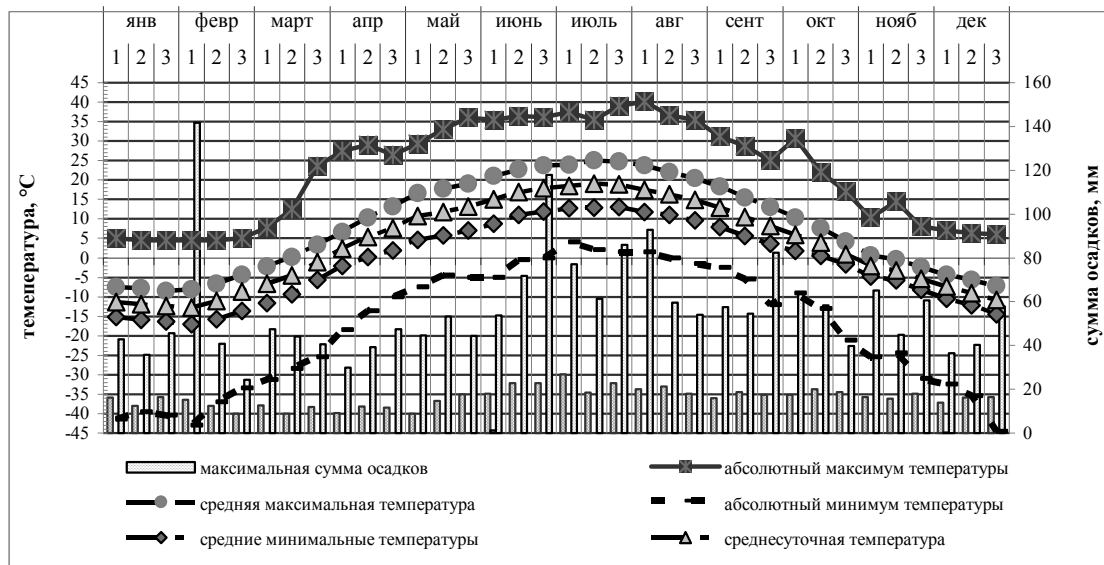


Рис. Климатодиаграмма БСИ МарГТУ (1968–2010 гг.)

Таблица 2

Средние фенодаты хвойных деревьев БСИ МарГТУ

Название вида	Средние даты наступления фенологических фаз со значением стандартной ошибки												
	Пб1	Пб2	Пб3	Пб4	О1	О2	Л1	Л2	Ц4	Ц5	Пл1	Пл2	Пл3
<i>A. sibirica</i>	29.04±1	15.05±1	18.05±1	22.06±2	30.06±2	6.08±3	21.05±1	5.06±2	18.05±2	22.05±1	4.06±6	17.07±16	21.09±8,1
<i>A. alba</i>	5.05±1	17.05±2	20.05±2	6.07±11	30.6±6	11.08±8	17.05±2	16.06±4	–	–	–	–	–
<i>A. balsamea</i>	24.04±2	16.05±1	17.05±1	30.06±2	21.07±6	16.08±7	21.05±2	17.06±5	16.05±2	20.05±3	30.05±4	11.06±3	–
<i>A. concolor</i>	30.04±2	18.05±1	19.05±1	6.07±4	20.07±8	22.08±3	20.05±2	11.06±4	21.05±2	26.05±1	6.06±1	27.06±1	–
<i>A. fraseri</i>	28.04±2	19.05±2	19.05±2	6.07±3	17.07±4	5.08±8	22.05±2	20.06±4	18.05±2	24.05±2	2.06±6	9.06±7	–
<i>A. holophylla</i>	28.04±2	13.05±2	13.05±2	27.06±2	3.07±8	16.08±5	13.05±2	5.06±5	18.05±2	26.05±1	10.06±5	28.06±1	–
<i>A. lasiocarpa</i>	25.04±2	11.05±2	11.05±2	5.07±3	5.07±5	5.08±5	15.05±2	9.06±4	16.05±4	20.05±3	25.05±4	21.06±6	–
<i>A. nephrolepis</i>	20.04±2	6.05±2	9.05±2	2.07±2	5.07±4	5.08±5	10.05±2	13.06±4	11.05±1	16.05±1	23.05±4	16.06±8	–
<i>A. sibirica</i> subsp. <i>semenovii</i>	30.04±3	25.05±11	25.05±11	6.07±7	21.07±3	28.08±7	2.06±11	13.06±7	–	–	–	–	–
<i>A. veitchii</i>	20.04±2	11.05±2	11.05±2	29.06±3	5.07±4	6.08±5	14.05±2	5.06±3	12.05±1	19.05±1	1.06±3	19.06±3	–
<i>P. x fennica</i>	24.04±2	14.05±1	15.05±1	16.06±2	28.06±2	3.08±2	20.05±1	4.06±2	22.05±2	24.05±2	20.06±11	27.08±12	17.09±36
<i>P. jezoensis</i>	21.04±2	6.05±2	8.05±2	19.06±3	30.06±3	30.07±4	10.05±2	6.06±4	7.05±1	15.05±2	23.05	–	–
<i>P. asperata</i>	21.04±3	9.05±2	9.05±2	28.06±1	26.06±2	15.08±5	10.05±2	9.06±6	15.05±4	21.05±3	31.05	–	–
<i>P. glauca</i>	23.04±2	16.05±2	16.05±2	28.06±3	7.07±4	14.08±4	19.05±2	7.06±3	14.05±1	20.05±1	30.05±3	–	–
<i>P. glehnii</i>	1.05±2	18.05±2	20.05±2	26.06±4	17.07±3	13.08±4	25.05±2	18.06±4	17.05±4	23.05±6	–	–	–
<i>P. mariana</i>	1.05±2	26.05±4	26.05±4	3.07±3	5.07±6	21.08±16	26.05±4	27.06±1	25.05±5	26.05±3	3.06±5	–	–
<i>P. obovata</i>	24.04±2	10.05±2	10.05±2	24.06±4	29.06±3	3.08±2,6	12.05±2	9.06±3	13.05±2	18.05±2	25.05±3	–	–
<i>P. omorica</i>	2.05±2	21.05±1	24.05±2	1.07±3	9.07±5	10.08±6	26.05±2	17.06±2	21.05±4	28.05±4	30.05±7	–	–
<i>P. pungens</i>	27.04±2	25.05±1	26.05±2	22.06±2	3.07±3	5.08±4	31.05±2	22.06±5	29.05±2	2.06±2	6.07±11	3.08±12	21.09±6
<i>P. rubens</i>	14.05±2	31.05±3	31.05±3	2.07±6	6.07±3	23.08±0,1	31.05±3	27.06±1	–	–	–	–	–
<i>P. schrenkiana</i>	2.05±2	18.05±2	18.05±2	26.06±1	26.06±2	16.08±7	18.05±2	13.06±3	–	–	–	–	–
<i>P. sylvestris</i>	24.04±2	–	30.04±2	17.06±3	5.07±3	15.08±3	8.06±2	12.07±3	28.05±1	2.06±2	20.06±5	24.08±19	2.12±18
<i>P. banksiana</i>	23.04±1	–	26.04±2	17.06±2	2.07±3	14.08±4	7.06±3	15.07±3	26.05±1	1.06±2	2.07±9	24.09±16	1.12±35
<i>P. cembra</i>	16.04±2	–	16.04±2	29.06±4	20.06±4	31.07±7	18.05±2	1.07±3	29.05±4	5.06±6	23.06±5	–	–
<i>P. densiflora</i>	21.04±2	–	21.04±2	29.06±3	28.06±3	15.08	27.05±2	10.07±1	23.05±3	28.05±3	23.06±3	–	–
<i>P. koraiensis</i>	22.04±1	–	26.04±2	13.06±3	6.07±2	19.08±3	11.06±2	31.07±3	18.06±3	23.06±2	29.07±26	13.08±4	1.10±11
<i>P. mugo</i>	29.04±1	–	1.05±2	26.06±4	25.07±6	18.09±8	4.06±4	18.07±8	1.06±2	6.06±2	19.06±3	22.07±30	4.10
<i>P. peuce</i>	21.04±3	–	27.04±5	28.06±4	22.07±13	23.08±8	22.05±3	10.07±7	14.06±1	20.06±1	–	–	–
<i>P. pumila</i>	19.04±2	–	21.04±3	24.06±5	3.07±4	14.08±4	30.05±3	4.07±5	25.05±2	30.05±2	6.06±6	–	–
<i>P. sibirica</i>	23.04±1	–	26.04±2	14.06±2	27.06±2	11.08±3	1.06±2	16.07±3	4.06±3	11.06±3	17.06±1	–	–
<i>P. strobus</i>	24.04±2	–	29.04±3	27.06±3	21.07±7	3.09±6	7.06±4	26.07±7	13.06±4	21.06±3	15.07±17	22.09±11	23.10±18

Примечание: Пб1 – набухание вегетативных почек, Пб2 – распускание почек, Пб3 – начало линейного роста побегов, Пб4 – окончание роста побегов, О1 – одревеснение основания побега, О2 – одревеснение побега, Л1 – начало обособления хвои, Л2 – полное обособление хвои, Ц4 – начало пыления, Ц5 – окончание пыления, Пл1 – смыкание семенных чешуй, Пл2 – опробкование семенных чешуй шишек, Пл3 – полное созревание шишек

Таблица 3

Зависимость изменчивости средней фенодаты от способа её перевода в число календарных дней

Название вида	Коэффициент вариации фенодат, %																			
	Пб1				Пб4				О2				Ц4				Ц5			
	с 1.01	с 1.03	с 1.04	с ПТ	с 1.01	с 1.03	с 1.04	с ПТ	с 1.01	с 1.03	с 1.04	с ПТ	с 1.01	с 1.03	с 1.04	с ПТ	с 1.01	с 1.03	с 1.04	с ПТ
<i>A. sibirica</i>	6,5	12,8	26,2	–	7,0	10,6	14,5	–	6,4	8,7	10,9	–	4,0	7,0	11,5	–	3,3	5,7	9,1	–
<i>A. alba</i>	3,0	5,7	10,8	–	8,3	12,2	16,0	–	5,3	7,2	8,9	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>A. balsamea</i>	8,8	18,3	41,5	–	4,5	6,6	8,9	–	10,9	13,6	18,0	–	4,1	7,3	12,3	–	5,5	9,4	15,3	–
<i>A. concolor</i>	5,2	10,2	20,6	–	6,6	9,7	12,8	–	3,4	4,6	5,5	–	2,5	4,2	6,8	–	0,7	1,1	1,8	–
<i>A. fraseri</i>	6,9	13,8	29,3	–	6,3	9,2	12,2	–	11,0	15,0	18,7	–	3,4	6,5	10,6	–	3,0	5,1	8,1	–
<i>A. holophylla</i>	5,0	10,1	21,3	–	2,0	3,0	4,0	–	4,2	5,7	6,9	–	1,5	2,7	4,5	–	1,0	1,6	2,5	–
<i>A. lasiocarpa</i>	8,1	16,7	37,0	–	5,5	8,0	10,6	–	7,6	10,4	13,0	–	3,7	6,5	10,9	–	3,0	5,2	8,5	–
<i>A. nephrolepis</i>	8,7	18,8	47,2	–	5,2	7,7	10,3	–	8,2	11,2	14,0	–	1,8	3,3	5,8	–	2,1	3,7	6,3	–
<i>A. sibirica</i> subsp. <i>semenovii</i>	6,8	13,3	27,2	–	19,3	32,5	19,8	–	4,1	9,5	11,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>A. veitchii</i>	8,0	16,7	38,1	–	6,7	9,9	13,3	–	6,9	9,4	11,7	–	2,4	4,4	7,7	–	2,2	3,9	6,4	–
<i>P. x fennica</i>	10,4	20,1	45,9	58,0	8,9	13,8	19,4	22,7	23,9	7,1	19,0	12,4	5,3	9,1	14,6	21,8	6,5	11,0	17,4	25,2
<i>P. jezoensis</i>	8,6	18,4	45,5	51,4	8,6	13,2	18,3	16,4	6,7	9,3	11,7	17,6	1,6	2,9	5,4	40,4	2,4	4,3	7,3	24,5
<i>P. asperata</i>	8,5	18,1	44,6	63,3	1,8	2,6	3,6	11,6	4,5	6,1	7,5	12,9	4,2	7,4	12,6	10,5	2,5	4,3	7,0	6,4
<i>P. glauca</i>	7,5	15,7	36,7	46,2	7,0	10,4	14,1	16,4	6,0	8,1	10,0	13,6	2,9	5,1	8,8	22,1	2,9	4,9	8,0	32,5
<i>P. glehnii</i>	7,1	13,8	27,6	45,0	8,3	12,4	16,8	18,3	6,2	8,4	10,3	12,7	4,8	8,4	14,0	22,6	5,9	10,1	16,0	28,3
<i>P. mariana</i>	4,8	9,3	18,6	38,9	3,3	4,8	6,4	12,5	9,7	13,0	15,8	20,9	7,4	15,6	24,9	21,7	4,7	7,8	12,1	19,1
<i>P. obovata</i>	6,1	12,6	28,6	45,4	8,4	12,7	17,4	22,5	4,6	6,3	7,9	11,8	3,4	7,0	12,1	25,7	3,2	5,5	9,1	22,6
<i>P. omorica</i>	6,2	12,0	23,6	40,2	6,4	9,4	12,6	15,4	8,7	11,8	14,6	20,6	5,7	9,8	15,8	20,8	5,8	9,6	14,8	20,9
<i>P. pungens</i>	10,7	21,5	45,9	47,4	5,2	7,9	10,8	13,2	8,4	11,5	14,3	16,3	5,9	9,7	14,8	21,8	6,1	9,9	14,8	20,0
<i>P. rubens</i>	5,1	9,0	15,4	23,0	6,9	10,1	13,5	13,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>P. schrenkiana</i>	4,3	8,3	16,2	32,4	1,4	2,1	2,9	11,9	5,1	6,9	8,4	12,5	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>P. sylvestris</i>	10,0	20,9	48,7	–	9,9	15,3	21,3	–	6,6	9,0	11,0	–	5,7	9,5	14,6	–	6,3	10,3	15,3	–
<i>P. banksiana</i>	7,1	14,6	34,5	–	8,3	12,8	17,9	–	8,7	11,7	14,4	–	4,5	8,0	12,4	–	6,4	10,5	15,7	–
<i>P. cembra</i>	5,9	13,3	38,2	–	5,6	8,5	11,2	–	8,4	11,6	14,6	–	6,3	10,4	15,9	–	8,5	13,6	20,0	–
<i>P. densiflora</i>	5,5	11,6	28,5	–	3,5	5,3	7,1	–	–	–	–	–	5,1	8,6	13,7	–	4,2	7,0	10,8	–
<i>P. koraiensis</i>	7,4	15,5	37,0	–	9,3	14,6	20,7	–	6,5	8,7	10,6	–	4,3	6,6	9,3	–	3,6	5,4	7,4	–
<i>P. mugo</i>	5,0	10,0	20,8	–	7,0	10,5	14,3	–	8,3	10,7	12,6	–	5,2	8,5	12,7	–	5,0	7,9	11,6	–
<i>P. peuce</i>	8,6	18,4	45,0	–	6,5	9,7	13,1	–	4,8	6,4	7,8	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>P. pumila</i>	8,2	17,9	47,3	–	10,2	15,4	21,1	–	6,5	8,7	10,7	–	3,0	5,0	7,9	–	2,6	4,4	6,6	–
<i>P. sibirica</i>	7,5	15,7	37,3	–	8,5	13,2	18,6	–	7,3	9,9	12,2	–	5,8	9,4	13,9	–	5,0	7,9	11,3	–
<i>P. strobus</i>	8,9	18,6	42,7	–	7,8	11,7	15,8	–	7,2	9,4	11,3	–	7,4	11,6	16,4	–	6,2	9,4	12,9	–

Набухание вегетативных почек изученных образцов хвойных интродуцентов, как и местных видов трёх родовых комплексов, приходится на третью декаду апреля. Исключением стали западно-европейские пихта белая и ель сербская, среднеазиатская ель Шренка, японская ель Глена и североамериканские ель чёрная и ель красная (первая-вторая декады мая). Во второй декаде апреля начинается набухание почек и рост вегетативных побегов у двух видов сосен из секции *Cembra* – сосны европейской и сосны низкой. Развержение почек у представителей родового комплекса *Abies* происходит во второй декаде мая (исключения: пихта белокорая – первая декада мая, пихта Семенова – третья декада мая). В родовом комплексе *Picea* развержение вегетативных почек занимает все три декады мая. Первыми раскрываются почки на деревьях дальневосточных видов (ель аянская, ель шероховатая) и ели сибирской, в третьей декаде – на растениях трёх североамериканских видов (ель колючая, ель чёрная, ель красная) и одном западноевропейском (ель сербская). Средние даты окончания линейного роста боковых побегов у всех изученных экзотов приходятся на более поздние, чем у контрольных растений, сроки и приходятся в подавляющем большинстве случаев на третью декаду июня – первую декаду июля. Исключением являются образцы сосны кедровой и сосны низкой. Аналогичная закономерность прослеживается и по датам полного одревеснения побега. Пыление изученных интродуцентов родов пихта и ель происходит в относительно более ранние сроки, чем у местных видов, но укладывается в те же вторую – третью декады мая. Среди изученных образцов родового комплекса *Pinus* только два вида двухвойных сосен пылят раньше сосны обыкновенной (вторая декада мая). Все изученные пятихвойные сосны и западноевропейская сосна горная пылят позже местного вида – в первой-второй декадах июня.

Уровень погодичной изменчивости дат начала отдельных фенофаз (см. табл. 3) существенно зависит от методического подхода к переводу фенодаты в число календарных дней. Если в качестве точки отсчёта выбрано 1 января, уровень изменчивости всех анализируемых показателей является небольшим или входит в границы нижней нормы варьирования (коэффициенты вариации не превышают 24 %). При определении 1 марта как точки отсчёта числа дней до наступления фенофазы, уровень погодичной изменчивости сроков наступления отдельных фаз сезонного развития листа и шиш-

ки может повыситься до границы верхней нормы варьирования (например, коэффициент вариации по фазе П1 у пихты Семёнова составляет 31,1 %, по фазе П11 у сосны Банка – 37,4 %). Предложенная методика перевода фенодат в число дней с даты начала ПТ (в табл. 3 показано на примере рода *Picea*), на наш взгляд, больше приближает показатели погодичной изменчивости сроков наступления фенофаз к их физиологической основе, несмотря на то, что значения коэффициентов вариации оказались выше. У представителей рода ель, выращиваемых в условиях интродукции в БСИ, сроки окончания роста побегов и их полного одревеснения в разные годы колеблются в пределах нижней нормы варьирования. По величинам уровня погодичной изменчивости сроков начала и окончания роста, полного одревеснения побегов, сроков пыления созревания шишек и семян можно делать предварительные выводы об адапционном потенциале изучаемых видов в условиях пункта интродукции: чем меньше значение коэффициента вариации, тем выше адапционный потенциал, так как сроки начала анализируемых фенофаз меньше зависят от метеорологических условий года. Тем не менее, исключать влияние температурного фактора на величину уровня изменчивости мы не имеем права, так как доля его влияния очень высока и у представителей рода ель составляет от 77 до 97 % (табл. 4).

Одним из важнейших показателей интродукционного потенциала экзотов является феноритмотип и степень его соответствия динамике климатических показателей вегетационного периода пункта интродукции или феноритмотипу местного вида изучаемого родового комплекса.

Методические подходы к определению ранней, средней, поздней феноформы различны. Остановимся только на методике А. Звиргзда и М. Кулитис-Авены [8]. Авторы предложили рассчитывать среднюю арифметическую фенодату для всех опытных и контрольных образцов. К ранним феноформам (Р) относить те таксоны, у которых фенодата меньше средней арифметической, к поздним феноформам (П) – от средней арифметической до последней фенодаты. Нами предложено относить таксон к раннему, среднему или позднему феноритмотипу на базе критерия $x_i \geq \leq x_{cp} \pm \sigma$. После определения феноритмотипа производили подсчёт числа фенофаз экзота с ранними, совпадающими и поздними сроками их начала по сравнению с контрольным видом. Сравнительные результаты феноритмотипов, определенных по двум методикам, приведены в табл. 5.

Таблица 4

Доля влияния активных и эффективных температур на уровень погодичной изменчивости сроков наступления фенофаз у представителей рода *Picea*

Название вида	Сумма АТ +0 °С			Сумма АТ +5 °С			Сумма ЭТ +5 °С		
	F факт.	F станд.	доля влияния, %	F факт.	F станд.	доля влияния, %	F факт.	F станд.	доля влияния, %
<i>P. asperata</i>	92,0	2,0	95,3	87,5	2,0	95,1	85,3	2,0	94,9
<i>P. × fennica</i>	188,8	1,7	87,1	187,3	1,7	87,1	162,6	1,7	86,2
<i>P. glauca</i>	148,4	1,8	93,1	148,4	1,8	93,1	138,0	1,8	92,6
<i>P. glehnii</i>	91,1	1,9	90,5	80,7	1,9	89,4	72,2	1,9	88,3
<i>P. jezoensis</i>	183,9	1,8	92,4	174,6	1,8	91,4	156,8	1,8	90,5
<i>P. mariana</i>	142,8	1,9	97,1	86,2	1,9	95,3	96,3	1,9	95,8
<i>P. obovata</i>	232,7	1,8	95,3	198,9	1,8	94,5	175,6	1,8	93,8
<i>P. omorika</i>	174,6	1,8	92,2	176,7	1,8	92,3	146,3	1,8	90,8
<i>P. pungens</i>	75,7	1,7	78,7	76,1	1,7	77,6	68,8	1,7	77,0
<i>P. rubens</i>	47,3	2,3	92,7	33,6	2,3	90,0	51,3	2,2	93,9
<i>P. schrenkiana</i>	119,9	2,1	95,8	81,9	2,1	94,0	70,6	2,1	93,1

Примечания: F факт. – фактическое значение критерия Фишера, F станд. – табличное значение критерия Фишера

Таблица 5

Соотношение ранних, совпадающих и поздних фенодат по сравнению с феноритмотипами местных видов родовых комплексов, %

Название вида	$xi < \geq x_{cp.}$			$x_{cp.} \pm \sigma$			Феноритмотип	Класс
	ранние	совпадающие	поздние	ранние	совпадающие	поздние		
<i>A. alba</i>	22,2	44,5	33,3	0,0	62,5	37,5	СПР/СП	4/1
<i>A. balsamea</i>	36,4	27,2	36,4	8,3	75,0	16,7	РПС/СПР	6/3
<i>A. concolor</i>	0,0	58,3	41,2	8,3	41,7	50,0	СП/ПСР	2/6
<i>A. fraseri</i>	8,3	58,3	32,9	8,3	66,7	25,0	СПР/СПР	3/4
<i>A. holophylla</i>	25,0	66,7	8,3	8,3	58,3	33,4	СРП/СПР	5/5
<i>A. lasiocarpa</i>	66,7	25,0	8,3	25,0	50,0	25,0	РСР/СПР	8/7
<i>A. nephrolepis</i>	66,7	16,65	16,65	58,3	16,7	25,0	РСР/ПС	9/9
<i>A. sibirica</i> subsp. <i>semenovii</i>	0,0	37,5	62,5	0,0	25,0	75,0	ПС/ПС	1/2
<i>A. veitchii</i>	66,7	33,3	0,0	25,0	16,7	58,3	РС/ПРС	7/8
<i>P. asperata</i>	36,4	45,5	18,1	63,6	18,2	18,2	СРП/РСР	8/9
<i>P. glauca</i>	36,4	36,4	27,2	18,2	63,6	18,2	РСР/СРП	9/4
<i>P. glehnii</i>	20,0	0,0	80,0	10,0	60,0	30,0	ПР/СПР	6/2
<i>P. jezoensis</i>	36,4	63,6	0,0	72,7	27,8	0,0	СР/РС	7/10
<i>P. mariana</i>	9,1	18,1	72,8	18,2	36,4	45,4	ПРС/ПРС	4/6
<i>P. obovata</i>	36,4	63,6	0,0	45,5	45,5	9,0	СР/РСР	7/8
<i>P. omorika</i>	9,1	27,3	63,6	18,2	54,5	27,3	ПРС/СПР	3/5
<i>P. pungens</i>	8,3	50,0	41,7	9,1	27,3	63,6	СПР/ПРС	2/1
<i>P. rubens</i>	0,0	0,0	100,0	12,5	12,5	75,0	П/ПРС	1/3
<i>P. schrenkiana</i>	12,5	25,0	62,5	25,0	50,0	25,0	ПРС/СРП	5/7
<i>P. banksiana</i>	0,0	72,7	27,3	10,0	90,0	0,0	СП/СР	1/2
<i>P. cembra</i> L.	30,0	60,0	10,0	60,0	30,0	10,0	СРП/РСР	8/9
<i>Pinus densiflora</i>	30,0	60,0	10,0	30,0	60,0	10,0	СРП/СРП	8/8
<i>P. koraiensis</i>	9,1	36,4	54,5	20,0	30,0	50,0	ПРС/ПРС	5/5
<i>P. mugo</i>	0,0	63,6	26,4	0,0	66,7	23,3	СП/СП	2/1
<i>P. peuce</i>	11,1	33,3	55,6	22,2	44,5	33,3	ПРС/СПР	6/6
<i>P. pumila</i>	18,2	72,7	9,1	30,0	70,0	0,0	СРП/СР	7/7
<i>P. sibirica</i>	0,0	60,0	40,0	20,0	80,0	0,0	СП/СР	3/4
<i>P. strobus</i>	0,0	18,2	81,8	11,1	22,2	66,7	ПС/ПРС	4/3

Примечание: в обозначении феноритмотипа ранние, совпадающие и поздние фенофазы расставлены в порядке убывания их числа; в числителе приведены формула феноритмотипа и класс адаптационного потенциала, оцененные по методике А. Звиргзда, М. Кулитис-Авены, в числителе – по модифицированной методике

Можно видеть, что итоговый феноритмотип и класс адаптационного потенциала в подавляющем большинстве случаев зависят от применяемого методического подхода к его оценке. Исходя из положения, что местные виды родового комплекса имеют максимальный уровень адаптации сезонной динамики развития вегетативных и генеративных органов, можно предположить, что экзоты, имеющие максимальное количество совпадений с местными видами по одноименным фенофазам, будут иметь больший адаптационный потенциал.

Так как в районе расположения БСИ возможны поздние весенние заморозки, а ранние осенние бывают позже сроков полного одревеснения побегов исследованных видов, таксоны с поздним феноритмотипом будут иметь более высокий адаптационный потенциал, чем с ранним. На основании двух выше приведённых предположений классы адаптационного потенциала экзотов в порядке убывания представлены в табл. 5. Можно видеть, что второй методический подход более верно описывает состояние растений. Исключение составляют представители рода *Abies*. Например, пихта белая отнесена к первому классу адаптационного потенциала на основании феноритмотипа без учёта низкой зимостойкости изученных экземпляров. К самым низким классам адаптационного потенциала отнесены дальневосточные пихта Вича и пихта белокорая, имеющие нор-

мальное развитие и не повреждающиеся поздними весенними заморозками. Таким образом, на основании феноритмотипа можно делать только предварительные оценки интродукционного потенциала растений исследуемых образцов.

Несколько слов об использовании методики А. Звиргзда и М. Кулитис-Авены [8] по оценке устойчивости экзотов по величине фенологического расстояния (далее ФР). ФР определяется как квадратный корень из сумм квадратов разностей численных выражений характерных фенодат контроля (местный вид родового комплекса) и изучаемого растения. Степень устойчивости экзота определяется величиной разброса по годам вычисленных значений ФР: чем менее устойчив вид, тем больше разброс ФР по годам. Таким образом, можно построить ряд устойчивости экзотов одного рода. Если рассчитать среднее арифметическое разбросов ФР изучаемых таксонов и образцов и стандартную ошибку, используя критерий $x_{cp.} \pm \sigma$, виды с разбросом ФР меньше $x_{cp.} - \sigma$ можно отнести к категории «фенологически устойчивых», виды с разбросом ФР больше $x_{cp.} + \sigma$ – к «фенологически неустойчивым», виды с разбросом ФР меньше $x_{cp.} + \sigma$ и больше $x_{cp.} - \sigma$ – к «фенологически среднеустойчивым» в изучаемом родовом комплексе. Пример результатов определения ФР интродуцированных в БСИ видов ели и категории «фенологической устойчивости» приведен в табл. 6.

Таблица 6

Разброс фенологических расстояний и категория «фенологической устойчивости» интродуцированных в БСИ видов рода *Picea*

Название вида	Разброс ФР по 1.01	КФУ	Разброс ФР по ПТ	КФУ	Разброс ФР по сумме АТ +0 °С	КФУ	Разброс ФР по сумме АТ +5 °С	КФУ	Разброс ФР по сумме ЭТ +5 °С	КФУ
<i>P. pungens</i>	49,15	С	48,15	С	633,23	С	660,37	С	442,41	С
<i>P. jezoensis</i>	37,59	С	37,72	С	659,12	С	659,12	С	470,86	С
<i>P. omorica</i>	144,81	Н	131,29	Н	1132,63	Н	1074,04	Н	619,76	Н
<i>P. glehnii</i>	47,17	С	39,24	С	742,71	С	741,06	С	551,5	Н
<i>P. glauca</i>	76,58	С	21,17	С	644,6	С	666,25	С	485,33	С
<i>P. obovata</i>	35,15	С	34,97	С	572,7	С	572,7	С	397,03	С
<i>P. shrenkiana</i>	26,4	С	26,4	С	385,05	У	406,43	У	531,13	С
<i>P. mariana</i>	35,42	С	35,42	С	532,97	С	529,66	С	373,17	С
<i>P. rubens</i>	34,77	С	34,77	С	401,1	С	403,21	У	300,76	У
<i>P. asperata</i>	18,36	С	18,36	С	417,89	С	456,61	С	357,58	С

Примечание: КФУ – категория «фенологической устойчивости»; разброс ФР по 1.01. – ФР рассчитаны на основе перевода фенодаты в число дней с 1 января; разброс ФР по ПТ – ФР рассчитаны на основе перевода фенодаты в число дней с даты устойчивого перехода среднесуточных температур воздуха через +0 °С; разброс ФР по сумме АТ +0 °С – ФР рассчитаны на базе суммы накопленных положительных температур на дату оцениваемой фенофазы; разброс ФР по сумме АТ +5 °С – ФР рассчитаны на базе суммы накопленных среднесуточных температур выше +5 °С на дату оцениваемой фенофазы; разброс ФР по сумме ЭТ +5 °С – ФР рассчитаны на основе суммы накопленных среднесуточных температур выше +5 °С за вычетом базовых 5 °С на дату оцениваемой фенофазы

Перевод фенодат в число календарных дней с 1 января или 1 марта не влияет на величину ФР. Также не влияет на категорию «фенологической устойчивости» и перевод фенодаты в число календарных дней с даты перехода среднесуточных температур воздуха через $+0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Расчёт разброса ФР по показателям обеспеченности теплом вегетационного периода даёт иную картину в распределении интродуцированных елей по категориям «фенологической устойчивости». Например, ель Глена из категории «среднеустойчивых» попадает в категорию «неустойчивых» в случае использования в качестве точки отсчёта фенодат сумму ЭТ $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ель красная переходит из категории «среднеустойчивых» в категорию «устойчивых» при переводе фенодат с точки отсчёта сумм АТ $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ЭТ $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ель Шренка также демонстрирует переход из категории «среднеустойчивых» в категорию «устойчивых», если за точку отсчёта берутся суммы АТ.

Вероятно, данные «переходы» у отдельных изученных видов могут быть одним из критериев оценки влияния температурных факторов на сроки наступления отдельных фаз сезонного развития, однако данные предположения требуют дополнительных исследований и обоснования.

Заключение

Интродукционная работа всегда имеет творческий и инновационный характер, так как любая попытка ввести в культуру в конкретном регионе новый таксон сопровождается поиском оптимальных методов подбора исходного материала, его мобилизации, приёмов и способов выращивания, технологий размножения, предварительной оценки его перспективности и дальнейших вторичных интродукционных испытаний. Каждый пункт интродукции имеет свои экологические особенности, поэтому реакция генотипов может оказаться непредсказуемой. Именно поэтому отобранные стандартные и частные методики в области интродукции и акклиматизации растений должны пройти апробацию применительно к конкретным объектам и условиям.

Автор выражает искреннюю благодарность научным руководителям БСИ Б. М. Алимбеку, В. И. Пчелину, М. М. Котову за проведённую организационно-методическую работу, кураторам дендрария Л. И. Котовой, В. А. Крейеру, Г. А. Мокосеевой, систематически проводившим фенологические наблюдения, а также сотрудникам, ежедневно снимающим метеопозволения.

Литература

1. Базилевская Н. А. Теории и методы интродукции растений / Н. А. Базилевская. – М. : Изд-во МГУ, 1964. – 131 с.
2. Встовская Т. Н. Древесные растения Центрального сибирского ботанического сада / Т. Н. Встовская, И. Ю. Коропачинский. – Новосибирск : Изд-во «Гео», 2005. – 235 с.
3. Деревья и кустарники СССР: дикорастущие, культивируемые и перспективные для интродукции : Т. 1. Голосеменные / Ред. С. Я. Соколов, Б. К. Шишкин. – М. -Л. : Изд-во АН СССР, 1949. – 463 с.
4. Джексон П. В. Анализ коллекций и научно-технической базы ботанических садов / П. В. Джексон // Информ. бюл. Совета ботан. садов России и Московского отделения Междунар. совета ботан. садов по охране растений. – 2001. – Вып. 12. – С. 59–66.
5. Древесные растения Главного ботанического сада им. Н. В. Цицина РАН: 60 лет интродукции / отв. ред. А. С. Демидов. – М. : Наука, 2005. – 586 с.
6. Жизнь растений : Т. 4. Мхи, плауны, хвощи, папоротники, голосеменные растения / под ред. И. В. Грушвицкого, С. Г. Жилина. – М. : Просвещение, 1978. – С. 315–334, 350–373.
7. Зайцев Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике / Г. Н. Зайцев. – М. : Наука, 1984. – 424 с.
8. Звиргзд А. Координатный метод обработки фенологических данных / А. Звиргзд, М. Кулитис-Авена // Интродукция растений в ботанических садах Прибалтики. – Рига : Зинатне, 1974. – С. 7–15.
9. Карпун Ю. Н. Основы интродукции растений / Ю. Н. Карпун // Hortus botanicus: Междунар. журн. ботан. садов. – Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2005. – № 2. – С. 17–32.
10. Козубов Г. М. Современные голосеменные (морфолого-систематический обзор и кариология) / Г. М. Козубов, Е. Н. Муратова / отв. ред. А. А. Яценко-Хмелевский. – Л. : Изд-во «Наука», Ленингр. отд., 1986. – 192 с.
11. Коропачинский И. Ю. Древесные растения Азиатской России / И. Ю. Коропачинский, Т. Н. Встовская. – Новосибирск : Изд-во «Гео», 2002. – 707 с.
12. Котов М. М. Применение биометрических методов в лесной селекции : учеб. пособие / М. М. Котов, Э. П. Лебедева. – Горький : Горьк. гос. ун-т им. Н. И. Лобачевского, 1977.
13. Крюссман Герд. Хвойные породы / Герд Крюссман / пер. с нем. Н. Н. Непомнящего : под ред. Н. Б. Гроздовой. – М. : Лесн. пром-сть, 1986. – 256 с.
14. Кулагин Ю. З. Адаптация как основной вопрос эколого-эволюционного изучения лесных деревьев / Ю. З. Кулагин // Вопросы адаптации растений к экстремальным условиям севера. – Петрозаводск : Карельский филиал АН СССР, 1975. – С. 5–15.

15. Лабин В. Ботанические сады и биоразнообразие / В. Лабин, М. Дриш, В. Бартлотт // Ботанические сады и сохранение биологического разнообразия. Обмен опытом : доклады и результаты проведенного в Грузии одноименного семинара с 23 по 28 мая 1999 г. – Бонн (Германия), 2001. – С. 27–39.
16. Лапин П. И. Оценка перспективности интродукции древесных растений по данным визуальных наблюдений / П. И. Лапин, С. В. Сиднева // Опыт интродукции древесных растений : сб. науч. работ. – М. : ГБС, 1973. – С. 7–67.
17. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР / Совет ботан. садов СССР. – М. : ГБС АН СССР, 1975. – 27 с.
18. Мидлтон М. Р. Анализ статистических данных с использованием Microsoft®Excel для Office XP : учеб. изд. / М. Р. Мидлтон / пер. с англ.; под ред. Г. М. Кобелькова. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. – 296 с.
19. Некрасов В. И. Актуальные вопросы развития теории акклиматизации растений / В. И. Некрасов / отв. ред. Н. В. Цицин. – М. : Наука, 1980. – 102 с.
20. Овсянникова А. О подсчёте дат устойчивого перехода температуры воздуха через 0, 5, 10, 15 °С весной и осенью / А. О. Овсянникова // Инженер-агрометеоролог отд. агрометпрогнозов Горьковского бюро погоды. – 4 с.
21. Практикум по агрометеорологии : учеб. / В. А. Сенников [и др.]. – М. : КолосС, 2006. – 215 с.
22. Пчелин В. И. Дендрология : учебник / В. И. Пчелин. – Йошкар-Ола : Мар. гос. техн. ун-т, 2007. – 520 с.
23. Трулевич Н. В. Эколого-фитоценологические основы интродукции растений / Н. В. Трулевич. – М. : Наука, 1991. – 216 с.
24. Фирсов Г. А. Хвойные в Санкт-Петербурге / Г. А. Фирсов, Л. В. Орлова. – СПб. : Изд-во «Росток», 2008. – 336 с.
25. Флора СССР : Т. 1. / Е. Г. Бобров [и др.]. – Л. : Изд-во АН СССР, 1934. – 302 с.
26. Шкутко Н. В. Хвойные экзоты Белоруссии и их хозяйственное значение / Н. В. Шкутко. – Минск : Изд-во «Наука и техника», 1970. – 269 с.
27. Rehder A. Manual of cultivated trees and shrubs hardy in North America exclusive of the subtropical and warmer temperate regions / A. Rehder. – N. Y. : The MacMillan Company, 1949. – P. 8–48.
28. The Gymnosperm Database [Electronic resource]. – Режим доступа: <http://www.conifers.org>
29. The Plant List [Electronic resource]. – Режим доступа: <http://www.theplantlist.org/browse/G/>.

Use of techniques of data processing in phenological observations (on the example of *Pinaceae* Lindl.)

S. M. Lazareva

Mari State Technical University, Botanical Garden Institute, Yoshkar-Ola

Abstract. Data on meteorological and phenological observations during 1968–2010 over 31 species of *Pinaceae* grown up in the arboretum of the Botanical Garden Institute of MarSTU are presented. The comparative analysis of the standard and modified private techniques of mathematical data processing of phenological observations on an example of the *Pinaceae* is given.

Keywords: conifer introducents, phenological observations, phenological data, type of phenological development, phenological distance, phenological stability.

Лазарева Светлана Михайловна
Марийский государственный технический
университет, Ботанический сад-институт
424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
тел. (927) 680–20–07
E-mail: svel1967@mail.ru

Lazareva Svetlana Mikhailovna
Botanical Garden Institute, Mari State Technical
University
3, Lenin Pl., Yoshkar-Ola, 424000
Ph. D. of Agriculture, ass. prof.
phone. (927) 680–20–07
E-mail: svel1967@mail.ru