А. А. Иманбаева, ген. директор, к. б. н.,
И. Ф. Белозеров, зам. директора по науке, к. с.-х. н.
Мангышлакский экспериментальный ботанический сад,
Республика Казахстан, г. Актау
imangarden@mail.ru

УДК 581.543

DOI 10.31676/2073-4948-2018-55-306-320

НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ ФЕНОЛОГИЧЕСКОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ «FENO-S»

Резюме. Дана характеристика создаваемой в Мангышлакском экспериментальном ботаническом саду специальной компьютерной программы «Feno-S», предназначенной для ввода и хранения в памяти компьютера фитофенологической информации, для дальнейшего ее оперативного поиска, математической обработки, выявления феноиндикаторов перспективности растений, вывода на печать, построения гистограмм и феноспектров, экспорта в различные текстовые и графические форматы, составления отчетов и списков по заданным таксономическим, биоэкологическим, декоративным и фенологическим параметрам. Приводится описание упрощенной методики сбора, систематизации и подготовке для импорта в электронные базы данных многолетнего материала фенологических исследований. Представлена информация по составу и структуре сформированной к настоящему времени БД, включающей 109 полей информации символьного, числового, логического и временного типа и 2240 записей по годам для 299 таксонов из 45 семейств и 83 родов.

Ключевые слова: компьютерная программа, фенология, базы данных, статистики рядов наблюдений, корреляция, гистограммы.

Summary. The characteristic of the special computer program "Feno-S", created in Mangyshlak experimental Botanical garden is given. It is designed for input and storage of phytophenological information in the memory of the computer for further operational search, mathematical processing, detection of phenotype indicators of plant prospects, printing, histograms and phenospectra, exports in various text and graphic formats, compilation of reports and lists for given taxonomic, bioecological, decorative and phenological parameters. The description of the simplified methodology of collection, systematization and preparation for the import of long-term phenological research material into electronic databases is presented. Information is provided on the composition and structure of the database formed to date, including 109 fields of information of symbolic, numerical, logical and temporal types and 2240 records by years for 299 taxa from 45 families and 83 genera.

Keywords: computer program, phenology, databases, statistics of series of observations, correlation, histograms.

Введение

Проведение фенологических наблюдений представляет собой очень сложный научно-исследовательский процесс, что обусловлено охватом

большого количества таксонов, многообразием используемых понятий и терминов (объект наблюдения, сезонное явление, фенодата, фенофаза, межфазный период, феноинтервал, индикационное явление и др.) и выполнении целого ряда этапов работ: визуальное наблюдение, фиксация фенофаз (до 26-й), заполнение сводных таблиц, построение феноспектров, анализ собранных материалов в связи с метеорологическими условиями года исследований и др.

Особую трудность вызывает статистическая обработка материалов фенонаблюдений, так как все сезонные явления приходится переводить в порядковый номер дня в году, считая с 1 января (или 1 марта), а после вычисления математических характеристик возвращать обратно в формат даты. Аналогичная проблема возникает и при выполнении корреляционного и регрессионного анализа сроков наступления фенофаз и метеофакторов.

В практике интродукционных исследований с целью снижения трудоемкости давно назрела необходимость перевода фитофенологических исследований на электронные языки программирования, которые содержат десятки специальных команд и функций работы с датами и позволяют не только создавать полноценные базы данных, но и составлять различные графические и текстовые отчеты, проводить статистическую обработку исследовательского материала и экспортировать его в различные файловые форматы, а также производить обмен фенологической информацией через интернет. Поэтому в текущем году Мангышлакским экспериментальным ботаническим садом (МЭБС) в рамках выполнения грантового проекта «Разработка научно-методических и компьютерно-информационных основ проведения фенологических наблюдений в ботанических садах Казахстана для прогноза перспективности интродукции растений и эффективного сохранения и использования их биоразнообразия» (на 2018-2020 гг.) была начата разработка многофункциональной фенологической программы для ЭВМ, названная «Feno-S», которая была бы совместима с современными операционными системами, графическими и текстовыми редакторами и содержала также необходимые Web-приложения.

Материалы и методы исследования

Объектами фенологических наблюдений являлись виды, сорта и формы растений коллекционного фонда МЭБС, насчитывающего 1270 таксонов из 250 родов из 88 семейств [11].

Исследования сезонных ритмов развития основывались на основных общепринятых понятиях и терминах, применяемых в фенологии [6-8, 12-16].

В ботанических центрах Казахстана в качестве основной принята Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР [17], которая была включена в 1987 году в состав специального сборника [18]

и предполагает фиксацию сезонных ритмов развития отдельно по трем морфолого-систематическим группам растений: травянистые, лиственные и хвойные древесные растения. По данной системе наблюдений для каждого вегетативного и генеративного органа интродуцента в период вегетации с частотой не реже двух раз в неделю в течение не менее 5 лет в журнал заносилась фенологическая формула, отражающая состояние растения. Причем фиксировались все фенофазы, которые наблюдаются на данный момент времени и одновременно отмечались количественные ее параметры с помощью отметки цифрами перед обозначениями фенофазы: 1 – в случае вступления в фенофазу менее 50% органов и 2 – более 50.

Для исследований по методикам [17-18] нами выбиралось не менее пяти модельных экземпляров каждого вида или внутривидового ранга. Изучение растений разного возраста и происхождения проводилось отдельно для отражения внутривидовой фенологической гетерогенности.

Составление алгоритмов математической обработки исследовательского материала основывалось на методиках Г. Ф. Лакина [19] и Б. А. Доспехова [20]. Для составления компьютерной программы использованы 4 языка программирования: Microsoft Visual FoxPro 9 SP2, Visual Basic For Applications 7.0, HTML 4.0 и JavaScript API 2.1.

При разработке структуры базы данных (БД) было предусмотрено сохранение феноматериалов в двух форматах: собственно даты – размером десять символов (к примеру, 17.08.2018) и в числовом – как количество календарных дней до наступления фенофазы с точки отсчета (1 января каждого года) (234). Это существенно упростило процедуру статистической обработки исследовательского материала. Коэффициенты корреляции рассчитывались как между сроками наступления фенофаз одного и того же растения в разные годы наблюдений, так и одной фенодаты между разными условиями произрастания, представителями различных родовых комплексов и др. Запрограммирован также корреляционный анализ сроков наступления основных фенофаз и метеофакторов пункта интродукции.

В фенологическую БД изначально вводилась таксономическая и регистрационная информация о растении с указанием латинского, русского, казахского названий, расположения в саду, номера регистрации, организации-донора, вида исходного репродуктивного материала и др. Для упрощения ввода таксономических единиц в компьютерной программе использованы списки родов R. K. Brummitt [21]. В основу систематики положена филогенетическая система А. Л. Тахтаджяна [22-23].

Результаты и обсуждение

При разработке компьютерной программы «Feno-S» строго соблюдались два основных принципа: 1) фенологическая БД должна быть тесно связана по

идентификационным показателям с коллекционной и 2) во всех алгоритмах программных модулей обработка информации по сезонному развитию должна проводиться отдельно для трех групп растений (лиственные и хвойные древесные, травянистые) – в силу различия их морфологических и эколого-биологических свойств. С целью решения поставленных задач (учета, регистрации и математической обработки феноданных) в состав главного меню программы включены 11 пунктов: «Файл», «Правка», «Ввод», «Поиск», «Просмотр», «Списки», «Фенология», «Ассортимент», «Базы данных», «Сервис» и «Справка» (рис. 1).

Рис. 1. Интерфейс программы «Feno-S».

Основная форма ввода и просмотра фенологической информации выводится в «Feno-S» одновременно со списком латинских и русских названий коллекционных растений в алфавитном порядке (рис. 2). При выборе любого таксона вся информация на форме автоматически обновляется. В правой ее части размещены список лет периода наблюдений и кнопки управления, предназначенные для добавления, копирования и удаления текущего года. В нижней части формы располагается набор кнопок для передвижения между годами, экспорта информации, разрешения редактирования и сохранения изменений в базе данных. Вся информация, как вводимая, так и расчетная, на форме ввода и просмотра разделена на 7 групп (страниц): «Лиственные», «Хвойные», «Травянистые», «Статистика», «Корреляция», «Метеоданные», «Дополнительно» и «Диаграммы». На первых трех страницах реализована возможность для каждой морфолого-систематической группы растений вводить и редактировать значения фенодат.

ФЕНОЛОГИЯ - Клен Генри - Acer henryi Pax. - РГП "МЗБС" КН МОН РК

2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017

Лиственные Хвойные Травянистые Статистики Корреляция Метеоданные Дополнительно Диаграммы

ЛИСТВЕННЫЕ ДРЕВЕСНЫЕ РАСТЕНИЯ Дата ввода информации: 23.07.2018

Название растения: Acer henryi Pax. - Клен Генри Возраст, лет: 21

Отдел, участок...: ДЕНДРООТДЕЛ Расположение в Саду:

Форма роста: дерево Листопадность: лиственное листопадное РИ: 1981/1046

Вегетативные органы:		Генеративные органы:	
Набухание почек (Пч1):	25.03	Набухание генеративных почек (Ц1):	26.03
Развержение почек (Пч2):	01.04	Развержение генеративных почек (Ц2):	03.04
Обособление листьев - облиствение (П1):	07.04	Появление бутонов (Ц3):	15.04
Листья имеют свойственную им форму (П2):	14.04	Начало цветения (Ц4):	07.05
Завершение роста и вызревания листьев (П3):	18.05	Начало массового цветения (Ц45):	13.05
Расцветивание отмирающих листьев (П4):	07.09	Окончание цветения (Ц5):	23.05
Начало опадения листьев (П5):	30.09	Завязывание плодов (Пл1):	28.05
Полное опадение листьев (П55):	16.11	Незрелые плоды достигли размера зрелых (Пл2):	26.07
Начало линейного роста побегов (П61):	25.03	Начало созревания плодов (Пл3):	24.08
Окончание линейного роста побегов (П62):	01.04	Окончание созревания плодов (Пл34):	03.09
Частичное одревеснение побегов (О1):	07.07	Начало опадения зрелых плодов и семян (Пл4):	06.09
Полное одревеснение побегов (О2):	21.08	Окончание опадения зрелых плодов и семян (Пл45):	06.12

Интернет

Рис. 2. Страница «Лиственные», формы ввода, просмотра и обработки фенологической информации.

На четвертой странице (рис. 3) внедренные в электронную оболочку алгоритмы позволяют рассчитывать величины продолжительности фенофаз (облиствения, цветения, роста и одревеснения побегов, созревания и опадения плодов и др.), а также основные статистики для выбранной фенологической фазы.

ФЕНОЛОГИЯ - Клен Генри - Acer henryi Pax. - РГП "МЗБС" КН МОН РК

2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017

Лиственные Хвойные Травянистые Статистики Корреляция Метеоданные Дополнительно Диаграммы

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ РЯДОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Продолжительность фенофаз - лиственные: Дней:		Продолжительность фенофаз - хвойные: Дней:	
Облиствения:	41	Обособления хвой:	
Роста побегов:	63	Роста побегов:	
Одревеснения побегов:	45	Одревеснения побегов:	
Цветения:	16	Пыления:	
Созревания плодов:	10	Созревания шишек и шишкоягод:	
Опадения листьев:	47	Опадения хвой:	
Опадения плодов:	91	Опадения шишек и шишкоягод:	
Вегетационного периода:	223	Вегетационного периода:	

Выбор фенофазы для расчетов: начало цветения

Средняя дата (X):	03.05	Минимальное значение фенодаты (Xmin):	26.04
Стандартное (ср. квадратич.) отклонение (S):	5.3	Максимальное значение фенодаты (Xmax):	11.05
Коэффициент вариации, % (Cv):	4.3	Размах вариации фенодаты (Rv):	15
Ошибка средней (Sx):	1.4		
Точность определения средней, % (p):	1.1		

Интернет

Рис. 3. Страница «Статистика».

Данные по множественному статистическому расчету можно получить при нажатии соответствующих кнопок на нижнем кнопочном меню. При этом в Microsoft Excel или Word (на выбор) будет сформирована таблица, содержащая показатели, отображенные в табл. 1.

Страница «Корреляция» (рис. 4) предназначена для установления связи между различными фенофазами и метеорологическими факторами. Здесь возможен выбор шести вариантов расчетов: 1) выбранной фенодаты с остальными в период наблюдений; 2) между всеми фенодатами (корреляционная матрица); 3) между годами периода наблюдений для всех фенодат; 4) выбранной фенодаты с метеорологическими факторами; 5) всех фенодат с метеорологическими факторами (корреляционная матрица); 6) продолжительности фенофаз с метеофакторами.

ФЕНОЛОГИЯ - Клен Генри - *Acer henryi* Pax. - РГП "МЗБС" КН МОН РК

Листовые Хвойные Травянистые Статистики **Корреляция** Методанные Дополнительно Диаграммы

КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ СВЯЗИ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ РЯДОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Варианты множественного расчета:

Выбор фенофазы (X) для расчетов корреляции:

☒ Выбранной фенодаты с остальными в период наблюдений
☐ Между всеми фенодатами в период наблюдений
☐ Между всеми фенодатами и годами периода наблюдений
☐ Выбранной фенодаты с метеорологическими факторами
☐ Всех фенодат с метеорологическими факторами
☐ Продолжительности фенофаз с метеорологическими факторами

Результаты расчетов:

Выбор фенофаз для расчетов корреляции: - X: - Y:

Коэффициент корреляции (r):	-0.404	Коэффициент регрессии (bux):	-0.569
Коэффициент детерминации (dux):	0.163	Ошибка коэффициента регрессии (Sb):	0.372
Стандартная ошибка коэффициента корреляции (Sr):	0.264	Ошибка отклонения от регрессии (Syx):	8.588
Критерий существенности коэффициента корреляции (tr):	1.53	Критерий существенности коэф. регр. (tb):	1.53
Критерий Стьюдента на уровне значимости 5% (t05):	2.18	Уравнение, дн.:	Пл45 = -0,569 * Пч2 + 390,083

Интерпрет.

Рис. 4. Страница «Корреляция».

Компьютерная программа в автоматическом режиме проводит все необходимые расчеты и может отправить табличный отчет в редакторы Microsoft Excel или Word с предоставлением показателей, представленных в табл. 2.

Кроме того, одновременно с корреляционным анализом «Feno-S» проводит выведение уравнения регрессии между фенодатами, которое можно использовать для прогноза их наступления.

Как видим по материалам таблицы 2, даже на примере одного вида древесных растений (клен Генри - *Acer henryi* Pax.) и одного типа корреляции (выбранная фенодата с остальными) компьютерная программа предоставляет интродуктору значительный материал для научного анализа.

Таблица 1.

Статистика сроков наступления и продолжительности фенофаз для клена Генри (*Acer henryi* Рах.) за период наблюдений 2004-2017 гг.

Фенофаза, продолжительность	N, лет	X, дни	X, дата	S	Cv	Sx	p, %	X _{min}	X _{max}	Rv, дни
Фенологические фазы										
Вегетативные органы										
Пч1 - набухание почек	14	95	05.04	8,7	9,2	2,3	2,4	26.03	28.04	33
Пч2 - разverzание почек	14	98	08.04	6,2	6,3	1,6	1,6	02.04	25.04	23
Л1 - обособление листьев (обливание)	14	103	13.04	6,3	6,2	1,7	1,7	06.04	01.05	25
Л2 - листья имеют свойственную им форму	14	108	18.04	6,2	5,8	1,7	1,6	10.04	04.05	24
Л3 - завершение роста и вызревания листьев	14	138	18.05	5,3	3,8	1,4	1,0	12.05	01.06	20
Л4 - расцветивание отмирающих листьев	14	246	03.09	7,8	3,2	2,1	0,9	23.08	12.09	20
Л5 - начало опадения листьев	14	270	27.09	5,5	2,0	1,5	0,6	20.09	13.10	23
Л55 - полное опадение листьев	14	315	11.11	8,8	2,8	2,3	0,7	25.10	19.11	25
Пб1 - начало линейного роста побегов	14	109	19.04	7,3	6,7	1,9	1,7	11.04	08.05	27
Пб2 - окончание линейного роста побегов	14	176	25.06	13,9	7,9	3,7	2,1	12.06	29.07	47
О1 - частичное одревеснение побегов	14	198	17.07	14,9	7,5	4,0	2,0	07.07	21.08	45
О2 - полное одревеснение побегов	14	241	29.08	10,4	4,3	2,8	1,2	21.08	22.09	32
Генеративные органы										
Ц1 - набухание генеративных почек	14	95	05.04	6,3	6,7	1,7	1,8	28.03	21.04	24
Ц2 - разverzание генеративных почек	14	101	11.04	6,4	6,4	1,7	1,7	05.04	28.04	23
Ц3 - бутонизация	14	110	20.04	6,8	6,3	1,8	1,6	16.04	14.05	28
Ц4 - начало цветения	14	123	03.05	5,3	4,3	1,4	1,1	26.04	11.05	15

Продолжение табл. 1

Фенофаза, продолжительность	N, лет	X, дни	X, дата	S	Cv	Sx	p, %	X _{min}	X _{max}	Rv, дни
Ц45 - массовое цветение	14	129	09.05	7,2	5,6	1,9	1,5	28.04	23.05	25
Ц5 - окончание цветения	14	140	20.05	4,8	3,4	1,3	0,9	09.05	27.05	18
Пл1 - завязывание плодов	14	143	23.05	4,7	3,3	1,3	0,9	16.05	01.06	16
Пл2 - незрелые плоды достигли размера зрелых	14	207	26.07	2,1	1,0	0,6	0,3	22.07	30.07	8
Пл3 - начало созревание плодов	14	238	26.08	1,8	0,8	0,5	0,2	24.08	30.08	6
Пл34 - окончание созревания плодов	14	250	07.09	4,6	1,8	1,2	0,5	02.09	16.09	14
Пл4 - начало опадения зрелых плодов и семян	14	254	11.09	5,1	2,0	1,4	0,6	04.09	21.09	17
Пл45 - окончание опадения зрелых плодов и семян	14	335	01.12	9,1	2,7	2,4	0,7	14.11	13.12	29
Продолжительность:										
- облиствения	14		35,5	3,0	8,5	0,8	2,3	31	41	10
- цветения	14		17,4	2,8	16,0	0,7	4,0	11	22	11
- роста побегов	14		66,2	8,0	12,1	2,1	3,2	55	82	27
- одревеснения побегов	14		42,6	5,0	11,7	1,3	3,1	32	50	18
- опадения листьев	14		44,9	7,3	16,2	1,9	4,2	30	53	23
- созревания плодов	14		12,1	4,2	34,9	1,1	9,1	4	21	17
- опадения плодов	14		81,5	12,4	15,2	3,3	4,0	61	96	35
- вегетации	14		212,3	12,8	6,0	3,4	1,6	189	227	38

N, лет - число наблюдений; X, дн, X, дат - средняя дата в числовом и временном форматах; (S) - стандартное отклонение; Cv - коэффициент вариации; Sx - ошибка среднего; p, % - точность определения среднего; X_{min} и X_{max} - минимальная и максимальная дата и продолжительность фенофаз; Rv, дни - ранг вариации.

Таблица 2.

Корреляционные связи фенофазы разворачивания почек (Пч2, X) клена Генри (*Ascer henryi* Рах.) с остальными фенодатами за период наблюдений, 2004-2017 гг. (N – 14 лет)

Фенофазы - Y	R	Dyx	Sr	Tr	Byx	Sb	Syx	Tb	T ₀₅	Уравнение, дни
Вегетативные органы										
Пч1 - набухание почек	0,598	0,358	0,231	2,59	0,841	0,325	7,5	2,59	2,18	Пч1 = 0,841 * Пч2 + 12,571
Л1 - обособление листьев (облиствление)	0,985	0,969	0,051	19,45	1,008	0,052	1,2	19,45	2,18	Л1 = 1,008 * Пч2 + 3,871
Л2 - листья имеют свойственную им форму	0,941	0,885	0,098	9,63	0,947	0,098	2,3	9,63	2,18	Л2 = 0,947 * Пч2 + 14,725
Л3 - завершение роста и вызревания листьев	0,820	0,672	0,165	4,96	0,703	0,142	3,3	4,96	2,18	Л3 = 0,703 * Пч2 + 69,128
Л4 - расцвечивание отмирающих листьев	-0,688	0,473	0,209	3,28	-0,864	0,263	6,1	3,28	2,18	Л4 = -0,864 * Пч2 + 329,821
Л5 - начало опадения листьев	-0,225	0,051	0,281	0,80	-0,200	0,251	5,8	0,80	2,18	Л5 = -0,200 * Пч2 + 289,198
Л55 - полное опадение листьев	-0,381	0,145	0,267	1,43	-0,542	0,380	8,8	1,43	2,18	Л55 = -0,542 * Пч2 + 367,520
Пб1 - начало линейного роста побегов	0,883	0,779	0,136	6,50	1,040	0,160	3,7	6,50	2,18	Пб1 = 1,040 * Пч2 + 7,356
Пб2 - окончание линейного роста побегов	0,736	0,542	0,195	3,77	1,659	0,440	10,2	3,77	2,18	Пб2 = 1,659 * Пч2 + 13,127
О1 - частичное одревеснение побегов	0,661	0,437	0,217	3,05	1,594	0,522	12,1	3,05	2,18	О1 = 1,594 * Пч2 + 42,146
О2 - полное одревеснение побегов	0,649	0,421	0,220	2,95	1,093	0,370	8,5	2,95	2,18	О2 = 1,093 * Пч2 + 133,637
Генеративные органы										
Ц1 - набухание генеративных почек	0,981	0,962	0,056	17,42	1,007	0,058	1,3	17,42	2,18	Ц1 = 1,007 * Пч2 - 4,135

Окончание табл. 2

Фенофазы - Y	R	Dyx	Sr	Tr	Byx	Sb	Syx	Tb	T ₀₅	Уравнение, дни
Ц2 - развержение генеративных почек	0,996	0,992	0,025	39,19	1,037	0,026	0,6	39,19	2,18	Ц2 = 1,037 * Пч2 - 1,266
Ц3 - бутонизация	0,831	0,691	0,160	5,18	0,921	0,178	4,1	5,18	2,18	Ц3 = 0,921 * Пч2 + 19,289
Ц4 - начало цветения	-0,326	0,106	0,273	1,20	-0,278	0,233	5,4	1,20	2,18	Ц4 = -0,278 * Пч2 + 149,498
Ц45 - массовое цветение	0,085	0,007	0,288	0,30	0,100	0,335	7,7	0,30	2,18	Ц45 = 0,100 * Пч2 + 118,697
Ц5 - окончание цветения	-0,250	0,063	0,279	0,90	-0,195	0,218	5,0	0,90	2,18	Ц5 = -0,195 * Пч2 + 158,843
Пл1 - завязывание плодов	0,066	0,004	0,288	0,23	0,050	0,219	5,1	0,23	2,18	Пл1 = 0,050 * Пч2 + 137,452
Пл2 - незрелые плоды достигли размера зрелых	0,315	0,099	0,274	1,15	0,108	0,094	2,2	1,15	2,18	Пл2 = 0,108 * Пч2 + 195,775
Пл3 - начало созревания плодов	0,030	0,001	0,289	0,10	0,009	0,086	2,0	0,10	2,18	Пл3 = 0,009 * Пч2 + 236,481
Пл34 - окончание созревания плодов	0,742	0,550	0,194	3,83	0,554	0,145	3,3	3,83	2,18	Пл34 = 0,554 * Пч2 + 195,388
Пл4 - начало опадения зрелых плодов и семян	0,730	0,533	0,197	3,70	0,608	0,164	3,8	3,70	2,18	Пл4 = 0,608 * Пч2 + 194,071
Пл45 - окончание опадения зрелых плодов и семян	-0,383	0,147	0,267	1,44	-0,567	0,394	9,1	1,44	2,18	Пл45 = -0,567 * Пч2 + 390,297

R - коэффициент корреляции; Dyx - коэффициент детерминации; Sr - ошибка коэффициента корреляции; Tr - критерий существенности коэффициента корреляции; Bux - коэффициент регрессии; Sb - ошибка коэффициента регрессии; Syx - ошибка отклонения от регрессии; Tb - критерий существенности коэффициента регрессии; T₀₅ - критерий Стьюдента на уровне значимости 5%.

Группа признаков «Метеоданные» служит для ввода величин температуры, влажности воздуха, количества осадков и др. На странице «Дополнительно» находятся поля показателей интродукционной ценности растений, примечания, названия организации-пользователя и исполнителей.

На последней странице формы ввода и просмотра (рис. 5) производится автоматическое построение диаграмм Ганта и гистограмм продолжительности восьми фенофаз с одновременным графическим представлением в специальном контейнере.

Рис. 5. Страница «Диаграммы».

На странице «Диаграммы» реализована также возможность копирования графических отчетов в буфер обмена Windows, просмотра во внешнем редакторе и вывода в *Microsoft Excel* (рис. 6А) и *Word* (6Б).

А. в *Microsoft Excel*

Б. в *Microsoft Word*

Рис. 6. Примеры экспорта фенологической информации во внешние редакторы.

Здесь же с помощью кнопки «Выбор гистограмм» можно запустить специальный объект построения графиков «FoxCharts», который позволяет, не выходя из программы, настраивать стиль, тип фигур, цвет и шрифты графических отчетов по фенологии, а также сохранять их в различных форматах файлов (рис. 7).

Рис. 7. Форма с объектом «FoxCharts» для работы с гистограммами.

Одновременно с составлением алгоритма программы в текущем году проводились работы по сбору, систематизации и подготовке для ввода в электронные таблицы Microsoft Excel многолетнего материала фенологических исследований, накопленного за последние 20 лет (1999-2017 гг.) для 581 вида, сорта и формы коллекционных растений генофонда ботанического сада из 5 таксономических отделов, 8 классов, 11 подклассов, 24 надпорядков, 49 порядков, 8 подпорядков, 49 семейств и 111 родов. Наибольшее количество обработанной информации по фенологии приходится на инорайонные листовенные растения (дендроотдел) – 216 наименований, в том числе 202 видов, 1 разновидность, 7 форм и 6 гибридов, которые представляют 57 родов и 25 семейств. Достаточно много информации систематизировано также для розария (137 сортов) и отдела плодовых растений (99 видов и сортов).

Состав фенологической БД разрабатывался с использованием специальных SQL-команд языка программирования Microsoft Visual FoxPro 9 SP2 и был совмещен с одновременным импортом введенных в таблицы Excel данных по сезонным ритмам развития интродуцентов. Изначально составленный

алгоритм предполагает выборку необходимых таксономических и регистрационных полей из коллекционной базы данных, далее идет объединение промежуточного курсора с введенной таблицей данных из Excel, и на последних этапах командным способом добавляются поля продолжительности фенофаз и проверка правильности их ввода.

В итоге в структуре базы данных по фенологии созданы 109 полей информации символьного, числового, логического и временного типов общей длиной 2101 знак. 6 переменных БД являются идентификационными, 12 – регистрационными, 8 – таксономическими, 12 – статистическими и 60 – фенологическими. 11 полей предназначены для характеристики интродукционной ценности растений по региональной комплексной шкале. Для лиственных древесных растений в БД предусмотрено хранение фенологической информации для 26 вегетативных и генеративных фенофаз, голосеменных древесных – 21 и травянистых – 12. Принятые названия полей по фенофазам соответствуют их сокращенным наименованиям по методике наблюдений (к примеру, начало цветения – «Ц4»).

В данное время в фенологической базе данных содержится информация для 865 таксонов, из них для 299 имеются материалы по фенологии за период от 3 до 14 лет, в том числе для 148 представителей дендроотдела, 20 – отдела голосеменных растений, 9 – местной флоры, 72 – плодового, 29 – участка выющихся растений и 21 – участка цветочных растений. Наиболее широко в фенологической БД представлены виды семейств *Aceraceae* Juss. (11), *Berberidaceae* Juss. (27), *Caprifoliaceae* Juss. (26), *Fabaceae* Lindl. (10), *Rosaceae* Juss. (108) и *Vitaceae* Juss. (22). Из родовых комплексов самыми многочисленными являются: *Acer* L. (11), *Armeniaca* Mill. (17), *Berberis* L. (27), *Cotoneaster* Medik. (22), *Lonicera* L. (14), *Malus* Mill. (36), *Juniperus* L. (8), *Pyrus* L. (11) и *Vitis* L. (15).

Состав БД постоянно пополняется и к концу года должен достигнуть 700 ботанических наименований. В ближайшее время также планируется составление программных модулей выявления феноиндикаторов перспективности растений, построения феноспектров и классификации интродуцентов по феноритмотипам, составления отчетов с множественной математической обработкой по крупным таксономическим единицам и др.

Заключение

Дальнейшее совершенствование и внедрение фенологической программы для ЭВМ в практику ботанических исследований значительно упростит создание баз данных и математическую обработку материалов по сезонному ритму развития растений, позволит оперативно осуществлять поиск таксонов, а также снизит затраты на подбор дифференцированного по видам зеленых насаждений наиболее декоративного и биологически устойчивого ассортимента интродуцентов.

Список использованной литературы

1. Шнелле Ф. Фенология растений. – Л.: Гидрометеиздат, 1961. – 258 с.
2. Батманов В. А. Заметки по теории фенологического наблюдения // Ритмы природы Сибири и Дальнего Востока. – Иркутск, 1967. – Т. 1. – С. 58-68.
3. Базилевская Н. А. Теории и методы интродукции растений. – М.: Изд-во МГУ, 1964. – 131 с.
4. Звиргзд А., Кулитис-Авена М. Координатный метод обработки фенологических данных // Интродукция растений в ботанических садах Прибалтики. – Рига: Зинатне, 1974. – С. 7-15.
5. Карпун Ю. Н. Основы интродукции растений // Hortusbotanicus, 2005. – Петрозаводск: Изд-во Петр. ГУ. – № 2. – С. 17-32.
6. Лапин П. И. Сезонный ритм развития древесных растений и его значения для интродукции // Бюл. ГБС АН СССР, 1967. – Вып 65. – С. 13-18.
7. Лапин П. И., Сиднева С. В. Оценка перспективности интродукции древесных растений по данным визуальных наблюдений // Опыт интродукции древесных растений: сб. науч. работ. – М.: ГБС АН СССР, 1973. – С. 7-67.
8. Минин А. А. Перспективы фенологического экомониторинга // Институт глобального климата и экологии Росгосгидромета и РАН –2008 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.char.ru/316/129588.html> (дата обращения: 12.09.2018)
9. Некрасов В. И. Актуальные вопросы развития теории акклиматизации растений / Под ред. Н. В. Цицина. – М.: Наука, 1980. – 102 с.
10. Фирсов Г. А. Хвойные в Санкт-Петербурге. – СПб: Росток, 2008. – 336 с.
11. Иманбаева А. А., Белозеров И. Ф., Косарева О. Н. и др. Коллекции растений Мангышлакского экспериментального ботанического сада / Под ред. А. А. Иманбаевой – Алматы: ТОО «Luxe Media Publishing», 2017. – 152 с.
12. Бейдеман И. Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ. – Новосибирск: Наука, 1974. – 153 с.
13. Булыгин Н. Е. Фенологические наблюдения над древесными растениями. Пособие по проведению учебно-научных исследований. – Л.: ЛТА, 1979. – 96 с.
14. Карписонова Р. А. Методика фенологических наблюдений за травянистыми многолетниками в отделе флоры СССР ГБС АН СССР. – М., 1972. – ШНИТИ (деп. № 5494-73). – 45 с.
15. Плотникова Л. С. Методика фенологических наблюдений за интродуцированными древесными растениями. – М., 1972. ШНИТИ (деп. № 5459-73). – 34 с.
16. Шульц Г. Э. Общая фенология – Л.: Наука, 1981. – 405 с.
17. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР // Совет ботанических садов СССР. – М.: ГБС АН СССР, 1975. – 27 с.
18. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР // Методики интродукционных исследований в Казахстане. – Алма-Ата: Наука, 1987. – С. 4-11.
19. Лакин Г. Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.
20. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (4-е изд., перераб. и доп.). – М.: Колос, 1979. – 415 с.

21. **Brummitt R. K.** Vascular plant. Families and Genera // Royal Botanic Gardens, Kew, 1992. – 804 p.
22. **Тахтаджян А. Л.** Система магнолиофитов. – Л.: Наука, 1987. – 440 с.
23. **Takhtajan A.** Diversity and Classification of Flowering Plants. – New York, Columbia University Press, 1997. – 663 p.

A. A. Imanbayeva, I. F. Belozarov

RSE “Mangyshlak Experimental Botanical Garden” of SC MES RK,
Aktau, Kazakhstan

**SOME RESULTS AND PROSPECTS FOR THE ELABORATION
OF PHENOLOGICAL COMPUTER PROGRAM
IN MANGYSHLAK EXPERIMENTAL BOTANICAL GARDEN**