

УДК 582.573:58.087:551.524

И. С. Казакова

А. И. Репецкая

**Определение биологического минимума температуры как индикатора интродукционной перспективности вида (на примере рода *Hosta* Tratt.)**

Потребность растений в тепле выражается биологической суммой температур, под которой понимают сумму среднесуточных температур воздуха за период вегетации культуры от начала роста до цветения. Цель работы заключается в разработке количественного критерия, отражающего связь биологических потребностей вида в тепле и температурных характеристик района интродукции на примере рода *Hosta* Tratt. В качестве объектов для создания математической модели физиологического нуля были выбраны различающиеся по срокам цветения 5 видов хост. Определен биологический минимум температур воздуха в разные фазы развития. Выведенные константы можно использовать для составления прогнозов возобновления вегетации, наступления бутонизации и цветения, а также планирования агротехнических мероприятий при культивировании.

**Ключевые слова:** виды, *Hosta*, биологический минимум, температура, интродукция, математическая модель.

**Введение**

Экологический режим интродукционных районов не всегда соответствует условиям естественного произрастания растений. Часто именно температура определяет границу, до которой возможна успешная интродукция вида. С точки зрения прогнозирования интродукционной деятельности представляют интерес количественные критерии, связывающие биологические особенности растений с экологическим объемом потенциальных местообитаний [4]. Потребность растений в тепле выражается биологической суммой температур, под которой понимают сумму среднесуточных температур воздуха за период вегетации культуры от начала роста до цветения. Помимо биологической суммы температур часто используют суммы активных и эффективных температур [15]. Физиологический нуль может наблюдаться на любом из этапов органогенеза [10, с. 105—211]. Каждому виду растений на разных стадиях развития свойственно определенное значение физиологического минимума температуры. Невысокие показатели физиологического нуля в начале вегетации увеличиваются, достигая своего предела в период формирования генеративных органов [15]. С помощью математической модели физиологического нуля возможно как составление прогнозов наступления фаз вегетации, бутонизации и цветения, так и моделирование условий существования потенциальных интродуцентов. Работы по расчетам физиологического нуля были проведены для представителей рода *Iris* [6], *Thymus* [7] и *Paeonia* [11].

Объектом настоящего исследования послужили восточноазиатские представители рода *Hosta* Tratt. (*Hostaceae*), для которых отсутствуют в доступных литературных источниках данные о биологической потребности в тепле и нижнем температурном пределе.

Цель работы заключается в разработке количественного критерия, отражающего связь биологических потребностей вида растений в тепле и температурных характеристик района интродукции.

Задачи:

1. На примере представителей рода *Hosta* проанализировать связь температурных показателей Предгорной зоны Крыма со временем начала вегетации и перехода растений к фазам бутонизации и цветения.

© Казакова И. С., Репецкая А. И., 2017

2. Установить критические значения температур воздуха для хода развития хост в Предгорном Крыму.

3. Рассмотреть применимость биологического минимума как количественного критерия для прогнозирования развития растений при интродукции.

#### Материалы и методы

В качестве объектов для создания математической модели физиологического нуля были выбраны различающиеся по срокам цветения 5 видов хост: среднелетние *Hosta sieboldii* (Paxton) Ingram, *H. ventricosa* Stearn, *H. sieboldiana* (Hooker) Engler и позднелетние *H. rectifolia* Nakai, *H. plantaginea* Ascherson. коллекции Ботанического сада имени Н. В. Багрова Таврической академии Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского [1]. Растения получены из Ботанического сада Львовского национального университета им. И. Франко, Национального ботанического сада им. Н. Н. Гришко и Ботанического сада Черновицкого национального университета им. Юрия Федьковича.

При определении показателей нижних температурных пределов для возобновления вегетации, начала бутонизации и цветения были использованы фенологические наблюдения, которые проводили по методике И. Н. Бейдеман [2] в течение пяти лет (2009—2013 гг.).

На основании данных Крымского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды были произведены подсчеты сумм активных температур воздуха для начала вегетации — выше 0 — +12°C; бутонизации — выше +10 — +19°C; начала цветения — выше +20°C (подсчет сумм всех градаций велся через 1°C). Выполнен регрессионный анализ, при котором для аппроксимации эмпирических данных использован полином первой степени [9, 12]. Согласно методике С. П. Корсаковой [8], в качестве результативных признаков использована сумма активных температур воздуха выше заданных пределов от 1 января до начала исследуемой фенологической фазы, а в качестве факториального — число дней с температурой воздуха выше этих пределов в течение данного периода. Стандартными методами определялись уравнения регрессии, наилучшим образом отражающие связь параметров при условии положительных значений свободного члена. Числовое значение коэффициента регрессии соответствует уровню нижнего температурного предела, а свободный член — сумме эффективных температур выше него, которая необходима для наступления соответствующей фазы.

#### Результаты и обсуждение

На основании многолетних наблюдений установлено, что возобновление вегетации в условиях Предгорной зоны Крыма у хост происходит в марте — апреле при устойчивом повышении температуры воздуха до +10°C. Различия в сроках наступления фаз бутонизации и цветения позволяют предположить биологическую потребность в более высоких температурах для формирования генеративных органов у *H. plantaginea* и *H. rectifolia*, чем у *H. sieboldii*, *H. sieboldiana*, *H. ventricosa* (табл. 1).

Таблица 1

Даты начала наступления фенологических фаз у видов рода *Hosta* в условиях Предгорного Крыма (2009—2013 гг.)

Вид	Фаза		
	Вегетация	Бутонизация	Цветение
<i>H. sieboldii</i>	5,04 ± 6	28,05 ± 11	22,06 ± 11
<i>H. sieboldiana</i>	10,04 ± 8	31,05 ± 11	18,06 ± 9
<i>H. ventricosa</i>	15,04 ± 14	17,06 ± 12	4,07 ± 11
<i>H. rectifolia</i>	5,04 ± 16	19,07 ± 14	6,08 ± 14
<i>H. plantaginea</i>	16,03 ± 24	18,07 ± 6	1,08 ± 5

Для определения биологического минимума рассчитали величину нижнего предела температур, ограничивающего развитие растений. Для начала вегетации построили уравнения регрессии связи между числом дней с температурой воздуха выше 0°C (от 1 января до даты возобновления вегетации) и суммой активных температур выше 0°C за этот период (рис. 1).

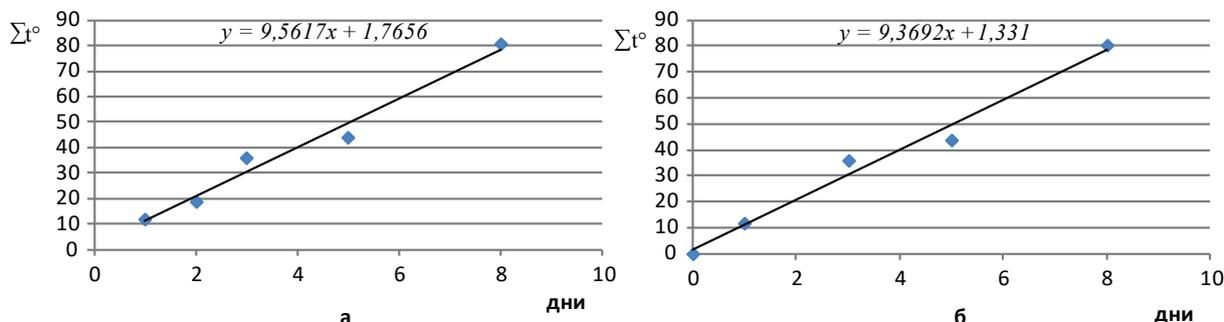


Рис. 1. Регрессионный анализ связи числа дней с положительной температурой воздуха и суммой активных температур для начала вегетации: а — *H. sieboldii*, *H. sieboldiana*, *H. ventricosa*; б — *H. rectifolia*, *H. plantaginea*

Отрастание у *H. sieboldii*, *H. sieboldiana* и *H. ventricosa* становится возможным при переходе через физиологический нуль, равный +9,56°C, а начинается этот процесс при наборе суммы эффективных температур 1,76°C свыше него. У *H. rectifolia* и *H. plantaginea* эти значения составляют 9,37°C и 1,33°C соответственно (рис. 1, табл. 2).

Таблица 2

Математические модели температурных ограничений развития хост в условиях интродукции в Предгорном Крыму

Фаза развития	Уравнение регрессии
Среднелетние <i>H. sieboldii</i> , <i>H. sieboldiana</i> , <i>H. ventricosa</i>	
Возобновление вегетации	$Y = 9,56x + 1,76$
Бутонизация	$Y = 19,79x + 1,63$
Начало цветения	$Y = 20,25x + 7,08$
Позднелетние <i>H. rectifolia</i> , <i>H. plantaginea</i>	
Возобновление вегетации	$Y = 9,37x + 1,33$
Бутонизация	$Y = 18,85x + 109,07$
Начало цветения	$Y = 19,08x + 145,19$

Аналогично проанализировали связь динамики температуры воздуха и перехода особей к бутонизации и цветению. Нижний предел температуры, необходимый для наступления фазы бутонизации у *H. sieboldii*, *H. sieboldiana* и *H. ventricosa*, составляет 19,79°C, а сумма эффективных температур, которую нужно добрать выше этого уровня, равна 1,63°C (рис. 2а, табл. 2). У *H. rectifolia* и *H. plantaginea* первая величина +18,85°C. Переход к бутонизации у них начинается после набора суммы эффективных температур 100—110°C и происходит на месяц позже (рис. 2б, табл. 2).

При вычислении параметров, определяющих начало цветения, использованы суммы активных температур выше +20°C. На основании регрессионного анализа установлено, что для начала цветения необходима среднесуточная температура воздуха выше +20,25°C для *H. sieboldii*, *H. sieboldiana*, *H. ventricosa* и дополнительно сумма эффективных — 7,08°C. У *H. rectifolia* и *H. plantaginea* нижний предел составил +19,08°C, а сумма эффективных температур для начала цветения равна 145,19°C (рис. 3, табл. 2).

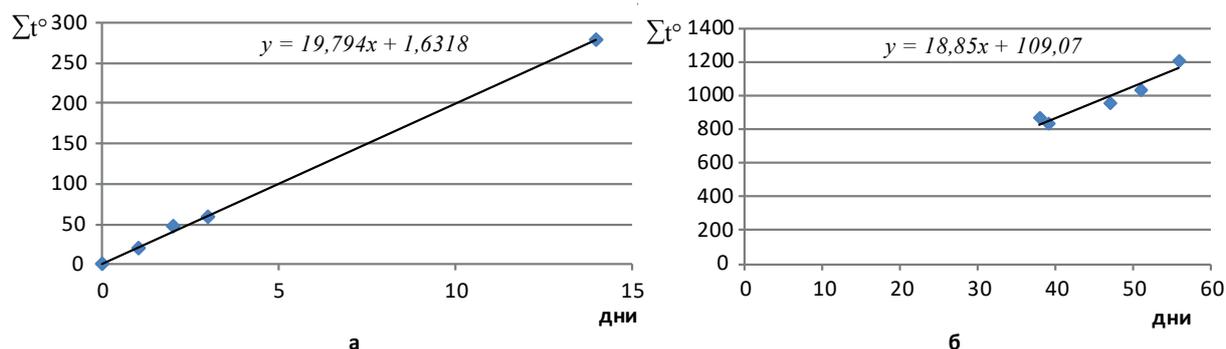


Рис. 2. Регрессионный анализ связи числа дней с положительной температурой воздуха и суммой активных температур для начала бутонизации: **а** — *H. sieboldii*, *H. sieboldiana*, *H. ventricosa*; **б** — *H. rectifolia*, *H. plantaginea*

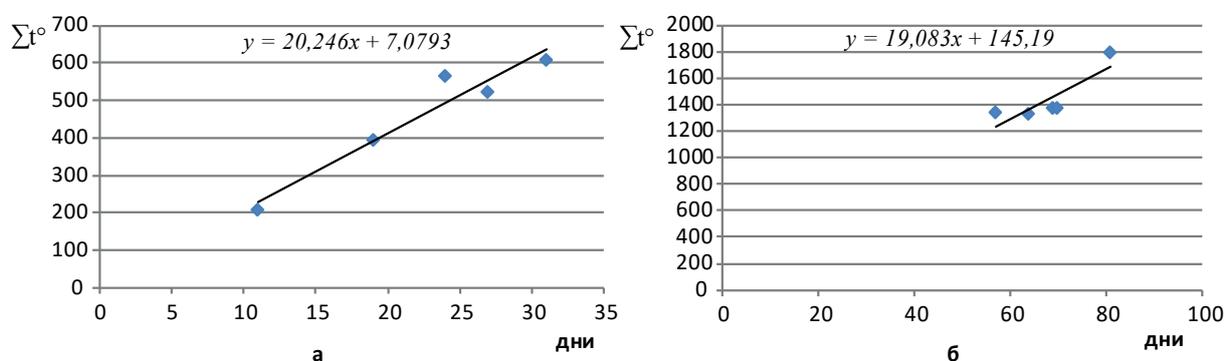


Рис. 3. Регрессионный анализ связи числа дней с положительной температурой воздуха и суммой активных температур для начала цветения: **а** — *H. sieboldii*, *H. sieboldiana*, *H. ventricosa*; **б** — *H. rectifolia*, *H. plantaginea*

Требования к температурным показателям будут мало различаться у одного вида в несходных климатических зонах. Зная, при каких минимальных температурах наступит та или иная фенологическая фаза у интродуцируемых видов, можно прогнозировать успешность его интродукции в несвойственных для него местах обитания.

Потребность в количестве тепла на каждом этапе фенологического развития — видоспецифичная характеристика. Вегетация растений изучаемых видов хост в любом районе интродукции должна начинаться после достижения устойчивых среднесуточных температур +10...+11°C. Анализ хода развития видов рода *Hosta* в удаленных друг от друга регионах России подтверждает это предположение.

В Предгорной зоне Крыма отрастание отмечали в конце марта — начале апреля, когда среднемесячная температура (рис. 4) превышала +10°C [5]. В средней полосе России [3] эта фаза приходится на III декаду апреля, в Западной Сибири — на III декаду мая [13, 14].

Растениям *H. rectifolia* и *H. plantaginea* для наступления фаз бутонизации и цветения необходим более высокий уровень температур, чем *H. sieboldii*, *H. sieboldiana*, *H. ventricosa*. Безусловно, температура не является единственным параметром среды, на который необходимо опираться в ходе интродукционного поиска. В частности, для хост чрезвычайно важным является количество осадков. Вместе с тем, имея возможность обеспечить достаточную влажность (за счет осадков или обильного полива и орошения), можно на основании вышеприведенных зависимостей и годового хода температур планировать время декоративности хост в составе ландшафтных композиций.

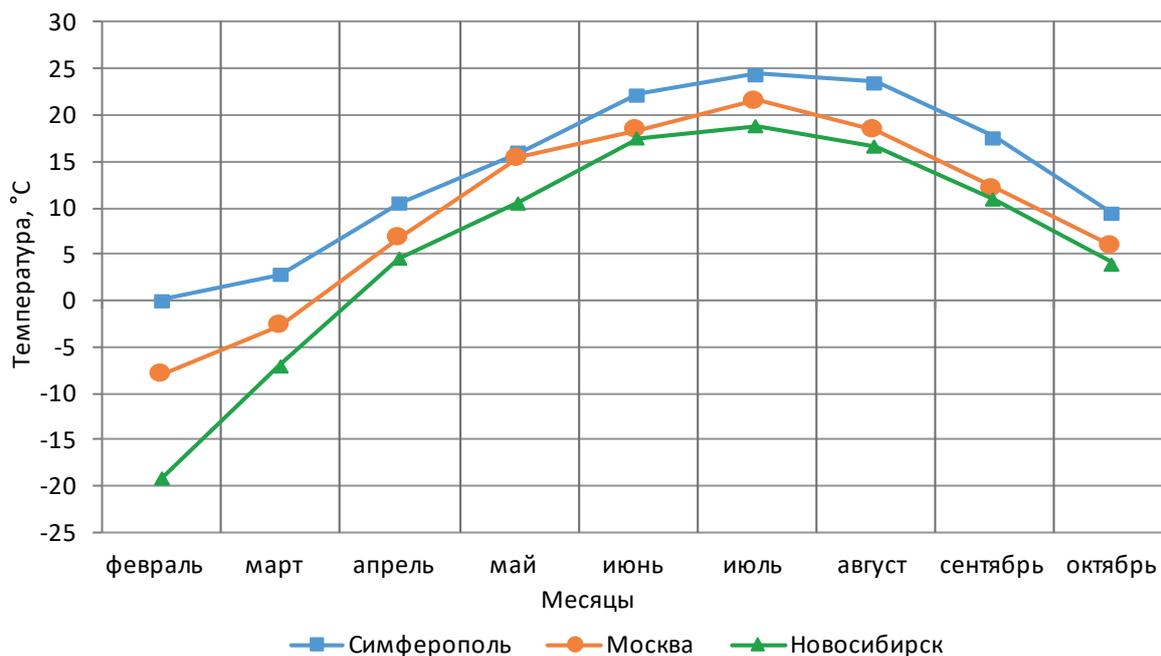


Рис. 4. Динамика среднемесячных температур (2009—2013 гг.) воздуха в разных регионах России

Интродукция растений — одно из важных направлений деятельности ботанических садов. Многолетний труд интродукторов предшествует широкому распространению в культуре нового ценного вида. Еще основоположник ботанической географии Александр Гумбольдт высказывал мысль о том, что для обеспечения успешности переноса растений в другую область особенно большое внимание следует обращать на климатические показатели, в первую очередь на температурный фактор. На успех интродукции можно рассчитывать лишь в том случае, если сумма положительных температур в той местности, куда растение интродуцируется, будет не ниже, чем на родине этого растения [10, с. 105—211].

Использование уравнения множественной регрессии в качестве математической модели позволит прогнозировать продолжительность того или иного периода цикла развития растений в новых условиях района интродукции. Зная уровень физиологического нуля и режим изменения метеорологических показателей данного региона, можно решить вопрос о целесообразности культивирования этого вида в пределах указанной территории.

Подобный подход при наличии многолетних наблюдений можно экстраполировать на другие виды инорайонной флоры или рассматриваемые в качестве потенциальных интродуцентов.

#### Выводы:

1. Проанализирована связь температурных показателей и времени наступления фаз фенологического развития представителей рода *Hosta*. Для возобновления вегетации видам хост необходим переход температуры воздуха через  $+10^{\circ}\text{C}$ . Выявлено, что *H. plantaginea* и *H. rectifolia* для нормального развития и наступления фаз бутонизации и цветения необходим более высокий уровень температуры, чем *H. sieboldii*, *H. sieboldiana*, *H. ventricosa*.

2. Установлены критические значения температур воздуха для развития хост в Предгорном Крыму. Отрастание наступает при переходе через физиологический ноль, равный  $+9,37\dots+9,56^{\circ}\text{C}$ . Нижний предел температуры для фазы бутонизации составляет

+18,85...+19,79°C. Для начала цветения необходима среднесуточная температура воздуха выше +19,08...+20,25°C.

3. Знание показателей биологического минимума у видов и режима изменения температур воздуха района интродукции позволяет решить вопрос о целесообразности выращивания вида в пределах указанной территории. Выведенные константы можно использовать для составления прогнозов возобновления вегетации, наступления бутонизации и цветения, а также планирования агротехнических мероприятий при культивировании растений.

*Статья публикуется в рамках выполнения госзадания Министерства образования и науки РФ с госбюджетным финансированием по теме «Разработка системы рационального использования декоративных фитобиологических ресурсов на территории Крыма».*

#### Список использованной литературы

1. Аннотированный каталог растений Ботанического сада Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского / под ред. А. И. Репецкой. Симферополь : ИТ «Ариал», 2014. 184 с.
2. Бейдеман И. Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ. Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1974. 155 с.
3. Вавилова Л. П. Функции в Главном Ботаническом саду. Интродукция и приемы культуры цветочно-декоративных растений. М., 1997. 168 с.
4. Зайцев Г. Н. Оптимум и норма в интродукции растений. М. : Наука, 1983. 272 с.
5. Казакова И. С. Интродукция видов рода Хоста (*Hosta* Tratt.) в Предгорном Крыму // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2015. № 10. С. 45—51.
6. Кирпичева Л. Ф. Биологический минимум температуры воздуха в разные периоды фаз развития у сортов *Iris hybrid hort.* в условиях Предгорной зоны Крыма // Вісті Біосферного заповідника «Асканія-Нова». 2012. Т. 14. С. 131—133.
7. Корсакова С. П. Биологический минимум температуры воздуха в период формирования генеративных органов *Thymus vulgaris* L. и *Thymus camphoratus* Hoffm. et Link. // Современные научные исследования в садоводстве : VIII Междунар. конф. по садоводству. Ялта : Никит. бот. сад, 2000. С. 30—35.
8. Корсакова С. П., Работягов В. Д., Федорчук М. И., Федорчук В. Г. Интродукция и селекция видов рода *Thymus* L. (биология, экология и биохимия). Херсон : Айлант, 2012. С. 47—51.
9. Лакин Г. Ф. Биометрия. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1980. 293 с.
10. Мауринь А. М., Тардов Б. Н. Биологическое прогнозирование. Рига : Науч.-метод. кабинет МВССО ЛатвССР, 1975. 279 с.
11. Пидгайная Е. С. Влияние температурного фактора на фенологическое развитие травянистых пионов в условиях Предгорного Крыма // Цветоводство: история, теория, практика : междунар. науч. конф. Минск : Конфидо, 2016. С. 175—178.
12. Плохинский Н. А. Биометрия. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1970. 367 с.
13. Погода и климат [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/file.htm>.
14. Седельникова Л. Л. Виды рода *Hosta* (HOSTACEAE) при интродукции в Западной Сибири // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2012. № 11. С. 73—78.
15. Синицина Н. И., Гольцберг И. А., Струнников Э. А. Агроклиматология. Л. : Гидрометеиздат, 1973. 344 с.

Поступила в редакцию 19.01.2017

**Казакова Ирина Сергеевна**, младший научный сотрудник  
Ботанический сад им. Н. В. Багрова Таврической академии Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского  
Российская Федерация, 295007, Республика Крым, г. Симферополь, пр. Академика Вернадского, 4  
E-mail: [ira\\_kaz@mail.ru](mailto:ira_kaz@mail.ru)

**Репецкая Анна Игоревна**, кандидат биологических наук, доцент  
Ботанический сад им. Н. В. Багрова Таврической академии Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского  
Российская Федерация, 295007, Республика Крым, г. Симферополь, пр. Академика Вернадского, 4  
E-mail: [anna.repetskaya@gmail.com](mailto:anna.repetskaya@gmail.com)

UDC 582.573:58.087:551.524

**I. S. Kazakova**  
**A. I. Repetskaya**

### **Determination of the biological temperature minimum as an indicator of the species introductory perspective (by the example of genus *Hosta* Tratt.)**

The need of plants for heat is expressed by the sum of biological temperatures, which is understood as the sum of average daily air temperature for the growing season of the crop from the start of growth to the flowering. The purpose of this paper is to develop a quantitative criterion reflecting the connection of the plant species biological needs in heat and temperature characteristics of the introduction region by the example of the genus *Hosta* Tratt. 5 types of plantain lilies differing in terms of flowering were selected as objects to create a mathematical model of a physiological zero. The biological minimum of air temperatures in different phases of development was determined. The derived constants can be used to make predictions of the growing season resumption, the oncoming of budding and flowering, as well as planning the agro-technical measures during the cultivation.

**Key words:** species, *Hosta*, biological minimum, temperature, introduction, mathematical model.

**Kazakova Irina Sergeevna**, Junior research scientist  
N. V. Bagrov Botanical Garden of Tavrida academy Crimea federal V. I. Vernadsky University  
Russian Federation, 295007, Republic of Crimea, Simferopol, Pr. Akademika Vernadskogo, 4  
E-mail: [ira\\_kaz@mail.ru](mailto:ira_kaz@mail.ru)

**Repetskaya Anna Igorevna**, Candidate of Biological Sciences  
N. V. Bagrov Botanical Garden of Tavrida academy Crimea federal V. I. Vernadsky University  
Russian Federation, 295007, Republic of Crimea, Simferopol, Pr. Akademika Vernadskogo, 4  
E-mail: [anna.repetskaya@gmail.com](mailto:anna.repetskaya@gmail.com)

#### **References**

1. *Annotirovannyi katalog rastenii Botanicheskogo sada Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo / pod red. A. I. Repetskoi* [Annotated Botanical Garden plants catalog of Crimean Federal University n.a. V. I. Vernadsky, ed. by A. I. Repetskaya]. Simferopol', IT "Arial" Publ., 2014. 184 p. (In Russian)
2. Beideman I. N. *Metodika izucheniya fenologii rastenii i rastitel'nykh soobshchestv* [The study method of plants and plant communities' phenology]. Novosibirsk, Nauka, Sib. otd-nie Publ., 1974. 155 p. (In Russian)
3. Vavilova L. P. *Funkii v Glavnom Botanicheskom sadu. Introduktsiya i priemy kul'tury tsvetochno-dekorativnykh rastenii* [Funkia in the Main Botanical Garden. Introduction and methods of ornamental plants]. Moscow, 1997. 168 p. (In Russian)
4. Zaitsev G. N. *Optimum i norma v introduktsii rastenii* [The optimum and rate in plants introduction]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 272 p. (In Russian)
5. Kazakova I. S. *Introduktsiya vidov roda Khosta (Hosta Tratt.) v Predgornom Krymu* [Hosta Tratt. genus species introduction in the Crimean Foothills]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta — Bulletin of KrasGAU*, 2015, no. 10, pp. 45—51. (In Russian)
6. Kirpicheva L. F. *Biologicheskii minimum temperatury vozdukh v raznye periody faz razvitiya u sortov Iris hybrid hort. v usloviyakh Predgornoj zony Kryma* [The biological minimum of air temperature in different development phases of the Iris hort. hybrids under the conditions of a Foothill zone of the Crimea]. *Visti Biosfernogo zapovidnika "Askaniya-Nova" — News Biosphere reserve "Askania-Nova"*, 2012, vol. 14, pp. 131—133. (In Russian)

7. Korsakova S. P. Biologicheskii minimum temperatury vozdukha v period formirovaniya generativnykh organov *Thymus vulgaris* L. i *Thymus camphoratus* Hoffm. et Link. [Biological minimum air temperature during the formation period of the generative organs of *Thymus vulgaris* L. and *Thymus camphoratus* Hoffm. et Link.]. *Sovremennye nauchnye issledovaniya v sadovodstve : VIII Mezhdunar. konf. po sadovodstvu* [Modern scientific research in horticulture: VIII Intern. Conf. on gardening]. Yalta, Nikit. bot. sad Publ., 2000, pp. 30—35. (In Russian)
8. Korsakova S. P., Rabotyagov V. D., Fedorchuk M. I., Fedorchuk V. G. *Introduktsiya i selektsiya vidov roda Thymus L. (biologiya, ekologiya i biokhimiya)* [Introduction and selection of the *Thymus* L. genus species (biology, ecology and biochemistry)]. Kherson, Ailant Publ., 2012, pp. 47—51. (In Russian)
9. Lakin G. F. *Biometriya* [Biometrics]. Moscow, Mosk. un-t Publ., 1980. 293 p. (In Russian)
10. Maurin' A. M., Tardov B. N. *Biologicheskoe prognozirovanie* [Biological forecasting]. Riga, Nauch.-metod. kabinet MVSSO LatvSSR Publ., 1975. 279 p. (In Russian)
11. Pidgainaya E. S. Vliyanie temperaturnogo faktora na fenologicheskoe razvitie travyanistykh pionov v usloviyakh Predgornogo Kryma [The temperature factor effect on phenological development of herbaceous Paeony in the conditions of Crimean Foothills]. *Tsvetovodstvo: istoriya, teoriya, praktika : mezhdunar. nauch. konf.* [Floriculture: history, theory, practice: Intern. scientific. conf.]. Minsk, Konfido Publ., 2016, pp. 175—178. (In Russian)
12. Plokhinskii N. A. *Biometriya* [Biometrics]. Moscow, Mosk. un-t Publ., 1970. 367 p. (In Russian)
13. *Pogoda i klimat* [Weather and Climate]. Available at: <http://www.pogodaiklimat.ru/file.htm>. (In Russian)
14. Sedel'nikova L. L. Vidy roda *Hosta* (HOSTACEAE) pri introduktsii v Zapadnoi Sibiri [Species of the *Hosta* genus (HOSTACEAE) while introduced in Western Siberia]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta — Bulletin of KrasGAU*, 2012, no. 11, pp. 73—78. (In Russian)
15. Sinitsina N. I., Gol'tsberg I. A., Strunnikov E. A. *Agroklimatologiya* [Agroclimatology]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1973. 344 p. (In Russian)