

УДК 581.192/543:582.579.2

DOI: 10.36305/0513-1634-2020-136-108-115

## МОРФОБИОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИИ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Оксана Олеговна Вронская, Оксана Леонидовна Цандекова

ФИЦ УУХ СО РАН, 650065, Россия, г. Кемерово,  
пр-т Ленинградский 10, каб. 215  
E-mail: oksana\_vronski@mail.ru

В статье представлены результаты многолетних исследований по изучению адаптационного потенциала растений рода *Iris* семейства *Iridaceae* в условиях северной лесостепи Западной Сибири. Проведена оценка морфобиологических особенностей ирисов, определены сроки цветения и суммы положительных температур, необходимых для наступления таких фенологических фаз развития, как отрастание, бутонизация, цветение и плодоношение. Выявлена индикаторная роль фенольных соединений и пероксидазы в листьях ирисов в течение сезонного развития. Исследуемые показатели можно использовать в качестве информативного параметра оценки состояния растений для фитоиндикации и интродукции.

**Ключевые слова:** *Iris aphylla* (Ирис безлистный); *I. chrysographes* (И. золотисто-расписной); *I. halophila* (И. солелюбивый); *I. pseudacorus* (И. ложноаирный); *I. ruthenica* (И. русский); фенологические фазы; полифенольные соединения; пероксидаза.

### Введение

Адаптация растений к условиям среды происходит на основе изменчивости различных признаков их строения и функционирования. В частности, в процессе приспособления растительного организма к изменяющимся условиям внешней среды происходит преобразование структуры их вегетативных органов, которые чутко реагируют на разного рода отклонения гидротермических условий. В связи с этим изучение морфобиологических особенностей того или иного вида позволяет понять многие стороны его адаптации, поскольку особенности строения растений очень часто коррелируют с процессами происходящими внутри растительного организма. В процессе адаптации растения претерпевают изменения биологически активных веществ, в том числе пероксидазы и фенольных соединений [1, 13]. Проблема адаптации растений в северной лесостепи Западной Сибири особенно актуальна, где специфические условия вегетационного периода обусловлены континентальным климатом. Растения рода *Iris* L. дают объективную реакцию на изменение условий окружающей среды. Ирисы обладают хорошей зимостойкостью, ранним цветением и декоративностью [3]. Они широко исследуются во многих регионах России и за рубежом [8, 9, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 20].

Целью настоящей работы явилось изучение морфобиохимических особенностей ирисов в условиях северной лесостепи Западной Сибири.

### Объекты и методы исследования

Работа проведена в 2012-2019 гг., в Кузбасском ботаническом саду. Объектом исследований служили многолетники рода *Iris* семейства *Iridaceae*: *I. aphylla* L. (Ирис безлистный), *I. chrysographes* Dykes (И. золотисто-расписной), *I. halophila* Pall. (И. солелюбивый), *I. pseudacorus* L. (И. ложноаирный), *I. ruthenica* Ker Gawl. (И. русский).

Климат района исследований – континентальный. Среднегодовая температура воздуха – 0,9 °С. Наиболее высокая температура воздуха летом +35...+38 °С., зимой –

57 °С. Первые весенние заморозки с 28 мая по 11 июня. Первые осенние заморозки с 26 августа по 14 сентября. Среднегодовое количество осадков – 450-500 мм. Высота снежного покрова от 47 до 72 см.

Фенологические наблюдения проводили согласно методике фенологических наблюдений, рекомендованной для ботанических садов [7]. Сумму положительных температур выше 0°С, определяли при использовании методических подходов [2]. Для биохимических анализов взяты надземные органы (листья) ирисов в следующие фазы вегетации: бутонизации, цветения, плодоношения. Определение активности пероксидазы определяли методом А.Н. Бояркина [4], фенольных соединений – по методу Левенталья-Нейбауера, который основан на легкой окисляемости фенолов калия перманганатом в присутствии индигосульфокислоты при комнатной температуре до появления золотисто-желтого окрашивания [6]. Повторность опытов трехкратная из смешанной пробы. Данные представлены в виде средних арифметических значений и их среднеквадратических (стандартных) ошибок. Статистическая обработка полученных данных и построение графиков выполнены с помощью стандартного пакета программ StatSoft STATISTICA 8.0. for Windows и Microsoft Office Excel 2007.

### Результаты и обсуждение

При изучении феноритмов роста и развития растений рода *Iris* выяснили, что начало отрастания наступало со второй декады апреля по вторую декаду мая, при сумме положительных температур 190-217 °С. Первые бутоны у ирисов появлялись через 15-25 дней после отрастания, при сумме положительных температур 310-380 °С. Начало цветения у исследуемых видов наступало через 17-27 дней от начала бутонизации.

У *I. halophila* и *I. ruthenica* цветение первых цветков наступало в конце третьей декады мая – начале первой декады июня, при сумме положительных температур 313-389 °С. В первой декаде июня отмечено начало цветения у *I. aphylla* при сумме положительных температур 412-543 °С. Во второй декаде июня зацветали *I. chrysographes* и *I. pseudacorus* при сумме положительных температур 585-596 °С. В среднем продолжительность цветения у ирисов составила 14-21 день (рис. 1).

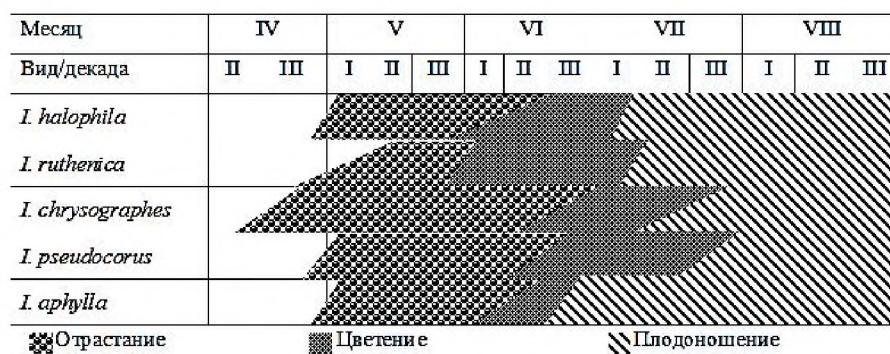


Рис. 1 Фенологические спектры видов рода *Iris* 2012-2019 гг

Причем, продолжительность цветения зависила от гидротермических условий: в теплые и сухие периоды – короткая, во влажные (2013–2014 гг.) - продолжительная (табл. 1).



Таблица 1

## Агроклиматические показатели вегетационных периодов 2012-2019 гг

Год	Сумма осадков, мм	Сумма температур выше 10°C	ГТК	Продолжительность вегетационного периода, дней	Характеристика тепло- и влагообеспеченности
2012	103,9	1972	0,53	125	Жаркий, засушливый
2013	384,5	2178	1,76	140	прохладный, избыточно увлажненный
2014	245,6	2145	1,14	138	прохладный, увлажненный
2015	197,6	2315	0,85	125	Жаркий, засушливый
2016	250,0	2493	1,00	135	Жаркий, увлажненный
2017	197,4	2305	0,85	131	Жаркий, засушливый
2018	123,6	1904	0,64	129	Жаркий, засушливый
2019	184,9	1961	0,94	137	Жаркий, засушливый

Примечание: ГТК – гидротермический коэффициент

Цветки раскрываются рано утром, а в жаркую и сухую погоду распускание бутонов наблюдается днем. Пыльцевые мешки раскрываются одновременно с распусканием цветка или сразу после его распускания. Из пыльцевого мешка пыльца высыпается быстро, часто, к вечеру первого дня он становится пустым. Пыльца однородная, жизнеспособность пыльцевых зерен составляет 87,193,1% у всех ирисов. Продуктивность цветения ирисов зависит от продолжительности цветения одного цветка, которая составляет 3-7 дней.

Отмечены некоторые отличия по способности к плодоношению у разных видов ирисов: у *I. pseudacorus*, *I. ruthenica*, *I. chrysographes*, *I. aphylla* плоды завязывались и вызревали во все годы наблюдений, у *I. halophila* – плоды образовывались, но не вызревали в 2013, 2014 гг. Причиной могли стать невысокие температуры и большое количество влаги в период плодоношения.

Период вегетации у *I. aphylla*, *I. halophila*, *I. ruthenica*, *I. chrysographes* составлял от 116 дней и более, у *I. pseudacorus* – длинный (130 и более дней). Таким образом, продолжительность вегетационных периодов зависела от гидротермических условий: в теплые и сухие периоды – короткая, во влажные – длительная.

Морфометрические измерения вегетативных органов ирисов позволили разделить исследуемые ирисы по высоте на высокорослые (более 100 см): *I. pseudacorus*; среднерослые (60,0-90,0 см): *I. halophila* и *I. chrysographes*; низкорослые (20,0-50,0 см): *I. aphylla*, *I. ruthenica* (рис. 2). У всех ирисов наименьшая высота побегов наблюдалась в 2017 г., в связи с жарким и сухим летним периодом. В результате недостаточного увлажнения в период отрастания побегов, отмечено снижение высоты цветоносных побегов у растений. Наиболее благоприятным для развития ирисов оказался вегетационный период 2018 года: 75,0% видов характеризовались наибольшей высотой побегов, так как отмечен стабильный переход температур через +5°C, который наступил в третьей декаде марта и через +10°C – в середине апреля.

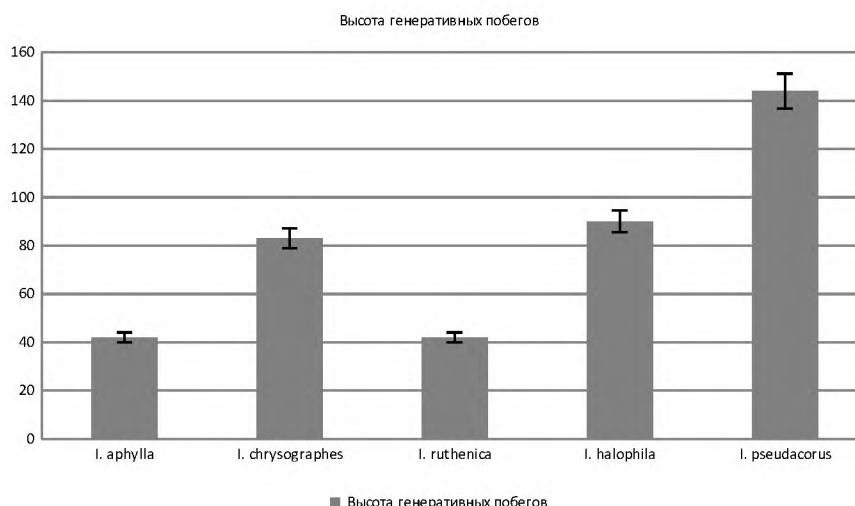
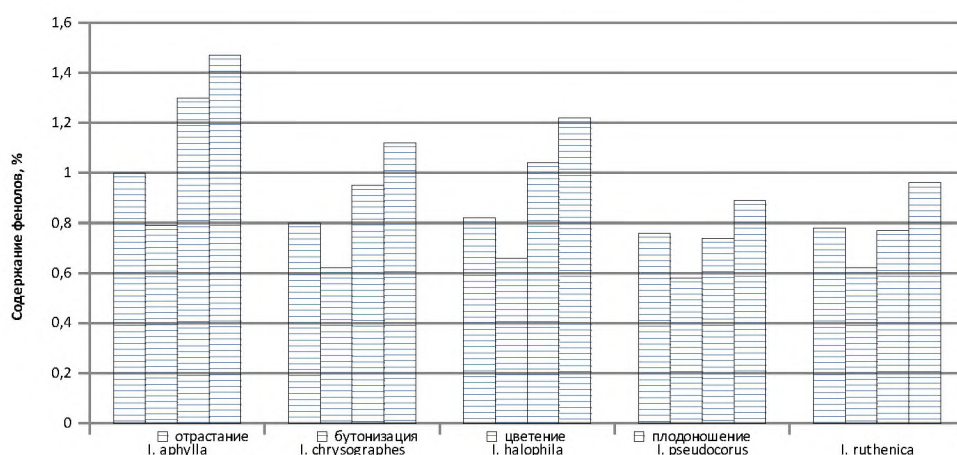


Рис. 2 Средняя высота генеративных побегов (см) ирисов 2012-2019 гг.

Совокупный анализ морфобиологических и биохимических показателей у ирисов выявил взаимную обусловленность этих параметров. Так ответом на процесс адаптации ирисов служит содержание фенольных соединений и ферментативная активность.

Метаболизм фенолов и деятельность пероксидаз в листьях ирисов находятся в тесной взаимосвязи, причем пероксидазы способствуют быстрому окислению первых. Когда процессы синтеза фенолов в растении интенсивнее, чем их окисление пероксидазами, то наблюдается увеличение содержания первых, и наоборот. Некоторые исследователи отмечают увеличение концентрации фенолов и уровня пероксидазы в ассимилирующих органах растений при неблагоприятных условиях и к концу вегетации [10, 5, 19]. Полученные нами результаты не противоречат литературным данным, согласно которым ирисы с высокой активностью пероксидазы содержат много полифенолов. Установлено, что в листьях декоративных многолетников рода *Iris* в течение вегетации повышалось содержание пероксидазы (до 13,69 ед. активности) и фенольных соединений (до 1,22%), особенно в фазы цветения и плодоношения.

Сравнительный анализ данных полифенольных соединений в листьях травянистых многолетников выявил индивидуальные различия у исследуемых видов. Установлено, что наибольшее содержание фенолов у всех исследуемых образцов отмечено в фазу плодоношения (0,89-1,47%), наименьшее – в фазу бутонизации (0,58-0,79%). В условиях северной лесостепи Западной Сибири в листьях *I. aphylla* и *I. halophilla* в течение вегетации выявлен наиболее высокий уровень их накопления (от 0,66 до 1,47%), что выше в 1,1-1,5 раза, чем у других видов. В листьях *I. pseudacorus* в течение вегетации концентрация фенолов ниже на 17-33%, чем в других исследуемых образцах (рис. 3).



**Рис. 3 Средний уровень содержания фенольных соединений в листьях декоративных многолетников рода *Iris* L. в течение вегетации**

Наибольшее содержание фенолов у всех ирисов отмечено в фазу плодоношения (0,89-1,47%), наименьшее – в фазу бутонизации (0,58-0,79%). В листьях *I. ruthenica* в течение вегетации выявлен наиболее высокий уровень накопления исследуемого показателя (от 0,79 до 1,47%). У *I. aphylla* значения варьировали в пределах от 0,58 до 0,89%, что ниже на 17-52%, чем в образцах других видов.

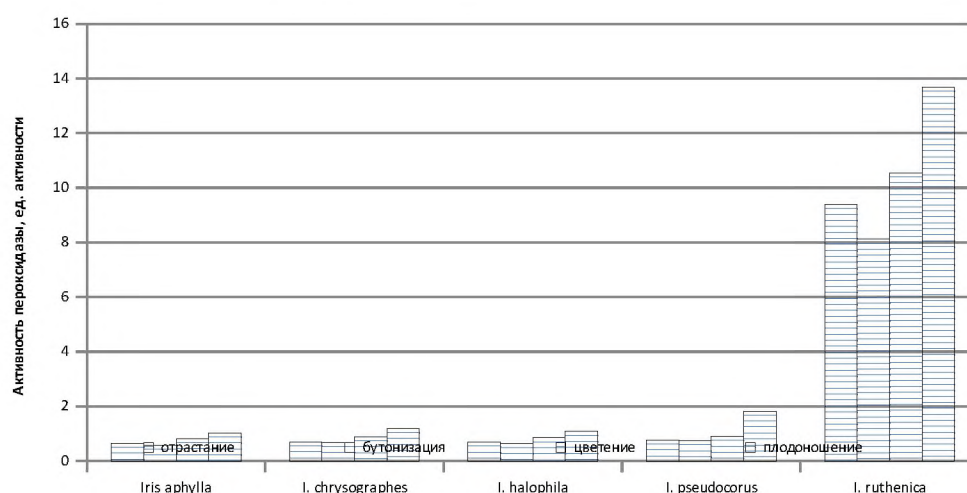
На содержание полифенольных соединений в листьях ирисов оказывают влияние метеорологические условия исследуемых вегетационных периодов. Наибольшее количество фенолов наблюдалось в жаркие и засушливые годы (2012, 2015, 2017-2019 гг.), очевидно, при повышенной температуре происходит увеличение внутриклеточного образования активных форм кислорода, что приводит к возникновению окислительного стресса и включению защитных механизмов у растений.

Активность пероксидазы у ирисов к концу вегетационного периода возрастала, что связано с естественным старением растений (рис. 4). Отмечено, что ферментативная активность в листьях всех видов ирисов в течение вегетации варьировала в пределах от 0,58 до 13,69 ед. активности. В фазу бутонизации выявлены минимальные значения фермента у исследуемых образцов (0,58-8,12 ед. активности), в фазу плодоношения – максимальные значения (1,03-13,69 ед. активности).

Сравнительная характеристика многолетников показала, что в листьях *I. aphylla* и *I. halophila* отмечен наименьший уровень активности фермента (на 6-33%), в сравнении с другими видами ирисов. Наиболее высокая активность пероксидазы в течение вегетации отмечена в листьях *I. ruthenica* (9,39-13,69 ед. активности).

В условиях высокой температуры и засухи (2012, 2015, 2017-2019 гг.) наблюдалась повышенная активность пероксидазы.





**Рис. 4** Уровень активности пероксидазы в листьях травянистых растений рода *Iris* L. в течение вегетации

На основе полученных экспериментальных данных проведен анализ значений коэффициентов вариации биохимических показателей и расчет корреляционных связей между морфологическими и биохимическими показателями у исследуемых растений. У декоративных многолетников выявлена наибольшая однородность уровня фенольных соединений, т.е. меньшая изменчивость признака по сравнению с активностью пероксидазы. Оценка вариабельности исследуемых показателей выявила отличия коэффициентов вариации, рассчитанных для различных видов ирисов. У *I. ruthenica* отмечен наибольший разрыв в изменчивости по активности пероксидазы, в сравнении с другими видами. Наиболее тесная взаимосвязь обнаружена между содержанием фенолов и шириной листа; активностью пероксидазы и шириной листа; положительная корреляция – между активностью пероксидазы и диаметром куста.

### Выводы

Исследования показали, что гидротермические условия северной лесостепи Западной Сибири специфически влияют на динамику накопления биохимических веществ и изменения морфометрических параметров представителей рода *Iris*. В жаркие и засушливые периоды наблюдалось уменьшение биоморфологических характеристик, увеличение активности полифенольных соединений и пероксидазы.

Изучены некоторые особенности адаптивных реакций растений в течение вегетации, которые выражались в изменении уровня накопления антиоксидантов в листьях *I. aphylla* и *I. halophila*, в сторону повышения содержания фенольных соединений до 1,5 раз, в сравнении с другими видами. *I. pseudocorus* характеризовался наиболее длительным периодом вегетации (130 и более дней) и низким накоплением вторичных метаболитов в листьях, относительно других видов ирисов.

Выявленные перестройки в функционировании морфобиохимической системы ирисов позволяют рассматривать их, как приспособительные и защитные реакции, направленные на их выживание в северной лесостепи Западной Сибири. Исследуемые показатели можно использовать в качестве информативного параметра для фитоиндикации и оценки состояния растений.

### Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ УУХ СО РАН АААА-А17- 117041410053-1 (проект № 0352-2016-0002) «Оценка состояния и охрана

флористического разнообразия под влиянием антропогенных и техногенных факторов *in situ* и *ex situ*». На базе УНУ Интродукционный фонд КузБС № USU 508670

### Список литературы

1. Андышева Е.В. Фенольные соединения *Dasiphora gorovoi* в природных интродукционных условиях юга Приморского края. Материалы II Международной научной конференции «Лекарственные растения: фундаментальные и прикладные проблемы». – Новосиб. гос. аграр. ун-т. – Новосибирск, ИЦ Новосибирского ГАУ «Золотой колос». – 2015. – С. 56-59.
2. Гулинова Н.В. Методы агроклиматической обработки наблюдений: учебное пособие. – Л.: Гидрометеиздат. – 1974. – 151 с.
3. Долганова З.В. Пути повышения устойчивости представителей рода *Iris* L. к абиотическим стрессорам лесостепи Алтайского края. Плодоводство и ягодоводство в России. – 2012. – Т. 30. – С. 216-228.
4. Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П., Перуанский Ю.В., Луковникова Г.А., Иконникова М.И. Методы биохимического исследования растений. – Л.: Агропромиздат. – 1987. – С. 41-43.
5. Карташов А.В., Радюкина Н.Л., Иванов Ю.В., Пашковский П.П., Шевякова Н.И., Кузнецов В.В. Роль систем антиоксидантной защиты при адаптации дикорастущих видов растений к солевому стрессу // Физиология растений. – 2008. – Т. 55. – С. 516-522.
6. Коренская И.М., Ивановская Н.П., Измалкова И.Е. Лекарственные растения и лекарственное растительное сырье, содержащие антраценпроизводные, простые фенолы, лигнаны, дубильные вещества. – Воронеж: Изд-во Воронежского гос. ун-та. – 2007. – С. 50-51.
7. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. – М.: Наука. – 1975. – 27 с.
8. Минжгал М.Ш., Болдырев В.А. Морфометрические признаки семян некоторых видов рода *Iris* L. в Саратовской области. Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. – 2016. – Т. 16. – Вып. 4. – С. 404 – 410. DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-4-404-410.
9. Набиева А.Ю., Елисафенко Т.В. Особенности размножения редких сибирских видов рода *Iris* L. – *I. Glaucescens* Bunge и *I. Bloudowii* Ledeb. в условиях культуры. Turczaninowia. – 2012. – № 15. – Т.1. – С. 80-84.
10. Рогожин В.В., Верхотуров В.В., Рогожина Т.В. Пероксидаза: строение и механизм действия. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. техн. ун-та. – 2004. – 200 с.
11. Bozena Mitic, Heidemarie Halbritter, Renata Sostaric, Toni Nikolic. Morphology of the genus *Iris* L. (Iridaceae) from Croatia and surrounding area: Taxonomic and phylogenetic implications. Plant Syst Evol. – 2013. – Vol. 299-271. – P. 288. DOI 10.1007/s00606-012-0720-7
12. Colasante M., Mathew B. Species of natural hybrid origin and misinformation in the Irises: A reappraisal of the presence of *I. aphylla* L. in Italy. – 2008. – Vol. 142. – P. 172-178.
13. Guiyao Zhou, Qin Luo, Yajie Chen, Miao He, Lingyan Zhou, Douglas Frank, Yanghui He, Yuling Fu, Baocheng Zhang, Xuhui Zhou. Effects of livestock grazing on grassland carbon storage and release override impacts associated with global climate change. Global Change Biology. – 2018. – Vol. 25. – №3. – P. 1119-1132.
14. Guvenc A. Investigation on the seeds of *Iris spuria* L. subsp. *musulmanica* (fomin) takht. (Iridaceae). Turkish J. Pharm. Sci. – 2005. – №. 2. – p. 125-136.

15. Karpenko V. P. Introduction history of species and varieties of genus *Iris* L. in Ukraine against the background of global trends. Вісник Уманського національного університету садівництва. – 2015. – № 2. – С. 85-89.
16. Khassanov F.O. Taxonomic revision of the genus *Iris* L. (*Iridaceae* Juss.) for the flora of Central Asia. Stapfia. – 2012. – № 97. – P. 174-179.
17. Oybak Donmez E, Isik S (2008) Pollen morphology of Turkish Amaryllidaceae, Ixioliriaceae and Iridaceae. Grana. – 2008. – № 47. – P. 15-38.
18. Tillie N., Chase M. W., Hall T. Molecular studies in the genus *Iris* L.: a preliminary study. Annali di botanica. 2000. – P.105-112. DOI: 10.4462 / annbotrm-9068.
19. Simova-Stoilova L., Demirevska K., Kingston-Smith A., Feller U. Involvement of the leaf antioxidant system in the response to soil flooding in two *Trifolium* genotypes differing in their tolerance to waterlogging // Plant Science. –2012. – Vol. 183. – P. 43-49. Doi: 10.1016/j.plantsci.2011.11.006
20. Wróblewska A., Brzosko E., Czamecha Ç., Nowosielski J. High levels of genetic diversity in populations of *Iris aphylla* L. (*Iridaceae*), an endangered species in Poland. Bot. J. Linn. Soc. – 2003. – Vol. 142. – P. 65-72.

Статья поступила в редакцию 20.02.2020 г.

**Vronskaya O.O., Zandekova O.L. Morphobiochemical features of plant adaptation in the Northern forest-steppe of Western Siberia // Bull. Of the State Nikita Botan. Gard. – 2020. – № 136. – P. 108-115.**

The article presents the results of long-term research on the adaptive potential of plants of the genus *Iris* of the family Iridaceae in the Northern forest-steppe of Western Siberia. An assessment of the morphobiological features of irises was carried out, the timing of flowering and the amount of positive temperatures necessary for the onset of such phenological phases of development as regrowth, budding, flowering and fruiting were determined. The indicator role of phenolic compounds and peroxidase in iris leaves during seasonal development was revealed. The studied indicators can be used as an informative parameter for evaluating the state of plants for phyto-indication and introduction.

**Key words:** *Iris aphylla* (leafless iris); *I. chrysographes* (Golden-painted iris); *I. halophila* (salty-loving iris); *I. pseudacorus* (false-airod iris); *I. ruthenica* (Russian iris); phenological phases; polyphenolic compounds; peroxidase.