

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
БИОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
Кафедра клеточной биологии и биоинженерии растений

ШАШКО Антонина Юрьевна

**АНАЛИЗ МОРФО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ПОДХОДОВ ЦИФРОВОГО ФЕНОТИПИРОВАНИЯ**

Аннотация на магистерскую диссертацию  
специальность 1-31 80 01 Биология

Научный руководитель  
Демидчик Вадим Викторович  
д.б.н., доцент

Допущена к защите  
«\_\_» 2020 г.  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_  
Смолич Игорь Иванович  
к.б.н., доцент

Минск, 2020

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Перечень условных обозначений	4
Введение	5
Общая характеристика работы	7
Глава 1 Обзор литературы	10
1.1 Основные объекты в феномике растений	10
1.2 Методы получения феномной информации	11
1.2.1 Способы регистрации изображений растений	13
1.2.2 Принципы устройства платформ фенотипирования растений	15
1.2.3 Платформы лабораторного фенотипирования	17
1.2.4 Системы полевой феномики	18
1.2.5 Аэрофеномика	19
1.3 Анализ феномных данных	20
1.3.1 Свободное программное обеспечение	21
1.3.2 Алгоритмы компьютерного зрения	22
1.3.3 Машинное обучение	23
Глава 2 Материалы и методы исследования	25
2.1 Объект исследования	25
2.2 Материалы исследования	25
2.2.1 Система регистрации феномных изображений	26
2.2.2 Программное обеспечение	27
2.3 Методики, использованные в работе	30
2.3.1 Генерация <i>in vitro</i> культуры древесных растений	30
2.3.2 Перевод микр клонов в условия <i>ex vitro</i>	32
2.3.3 Зеленое черенкование древесных растений	33
2.3.4 Культивирование <i>Arabidopsis thaliana</i>	34
2.3.5 Фенотипирование культур <i>in vitro</i>	36
2.3.6 Фенотипирование растений в почвенных субстратах	37
2.3.7 Фенотипирование <i>Arabidopsis thaliana</i>	38
2.4 Статистический анализ данных	40
Глава 3 Результаты и их обсуждение	41
3.1 Введение декоративных растений в культуру <i>in vitro</i>	41
3.2 Прайминг и перевод микр клонов в условия <i>ex vitro</i>	43
3.3 Разработка методик фенотипирования	46
3.4 Фенотипирование растений	47
3.4.1 Фенотипирование молодых растений	47

3.4.2 <i>In vitro</i> фенотипирование	50
3.4.3 Феномный анализ растений при выведении <i>ex vitro</i>	54
3.4.4 Фенотипирование укореняющихся черенков	58
3.4.5 Цифровой анализ растений <i>Arabidopsis thaliana</i>	59
Заключение	64
Список использованных источников	67
Приложение А	78
Приложение Б	83

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

Магистерская диссертация 77 с., 19 рис., 4 табл., 155 источников, 2 прил.  
**ФЕНОМИКА, ФЕНОТИПИРОВАНИЕ, АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ,**  
**ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ, МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ, НЕЙРОННАЯ СЕТЬ**

Объектом исследования в настоящей работе являлись черенки, микроклоны и молодые проростки высших растений, включая ель обыкновенную (*Picea abies* (L.) H. Karst.), можжевельник скальный (*Juniperus scopulorum* Sarg.), тис ягодный (*Taxus baccata* L.), туя западную (*Thuja occidentalis* L.), форзицию промежуточную (*Forsythia × intermedia* (L.) Vahl), айву японскую (*Chaenomeles japonica* (Thunb.) Lindl. Ex Spach) и арабидопсис (*Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh.).

Целью работы являлся анализ морфо-физиологических характеристик некоторых видов высших растений на различных этапах онтогенеза с использованием подходов цифрового фенотипирования на базе алгоритмов компьютерного зрения и машинного обучения.

Основные методы исследования: технология генерации и поддержания культуры *in vitro* древесных растений; методика выведения микроклонов из системы *in vitro*; техника зеленого черенкования древесных растений; методика культивирования растений арабидопсиса в чашках Петри и грунте; методика фенотипирования растений *in vitro* и в почвенных субстратах.

В результате проведенной работы были систематизированы и представлены в виде аналитического обзора современные данные по проблеме фенотипирования растений. Введена в *in vitro* культура айва японская (*Chaenomeles japonica* (Thunb.) Lindl. ex Spach). Освоена методика и поставлен модельный эксперимент по выведению микроклонов форзиции промежуточной (*Forsythia × intermedia* (L.) Vahl) в условия *ex vitro* с применением прайминговой обработки; а также отработана методика зеленого черенкования и последующего укоренения древесных растений различных видов. Продемонстрировано, что разработанные и апробированные в работе подходы феномного анализа являются эффективным и объективным инструментом для оценки физиологического состояния и мониторинга его изменений в различных условиях культивирования. Фенотипирование растений различных видов в асептической культуре, в процессе адаптации к условиям *ex vitro*, а также при укоренении в нестерильных условиях показало высокоточный интерпретируемый результат, согласующийся с данными классических ростовых тестов.

# АГУЛЬНАЯ ХАРАКТАРЫСТЫКА РАБОТЫ

Магістарская дысертацыя 77 с., 19 мал., 4 табл., 155 крыніц, 2 дад.

ФЕНОМІКА, ФЕНАТЫПРАВАННЕ, АНАЛІЗ МАЛЮНКАЎ,  
ФІЗІЯЛОГІЯ РАСЛІН, МАШЫННАЕ НАВУЧАННЕ, НЕЙРОНАВАЯ СЕТКА

Аб'ектам даследавання работы з'яўляліся тронкі, мікраклоны і маладыя прапосткі вышэйших раслін, у тым ліку елка звычайная (*Picea abies* (L.) H. Karst.), ядловец скальны (*Juniperus scopulorum* Sarg.), ціс ягадны (*Taxus baccata* L.), туя заходняя (*Thuja occidentalis* L.), фарзіцыя сярэдняя (*Forsythia × intermedia* (L.) Vahl), айва японская (*Chaenomeles japonica* (Thunb.) Lindl. Ex Spach) і арабідопсіс (*Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh.).

Мэтай работы з'яўляўся аналіз морфа-фізіялагічных хараクтарыстык некаторых відаў вышэйших раслін на розных этапах антагенезу з выкарыстаннем падыходаў лічбавага фенатыпіравання на базе алгарытмаў камп'ютарнага гледжання і машыннага навучання.

Асноўныя метады даследавання: тэхналогія генерацыі і падтрымання культуры *in vitro* драўняных раслін; методыка вывядзення мікраклонаў з сістэмы *in vitro*; тэхніка зялёнага чаранковання драўняных раслін; методыка культивіравання раслін арабідопсіса ў сподках Петры і грунце; методыка фенатыпіравання раслін *in vitro* і ў глебавых субстратах.

У выніку праведзенай работы былі сістэмазаваны і прадстаўлены ў выглядзе аналітычнага агляду сучаснага даныя па праблеме фенатыпіравання раслін. Уведзена ў *in vitro* культуру айва японская (*Chaenomeles japonica* (Thunb.) Lindl. Ex Spach). Засвоена методыка і паставлены мадэльны эксперимент па вывядзенні мікраклонаў фарзіцыі сярэдней (*Forsythia × intermedia* (L.) Vahl) ва ўмовы *ex vitro* з ужываннем праймінгавай апрацоўкі; а таксама адпрацавана методыка зялёнага чаранковання і наступнага ўкаранення драўняных раслін розных відаў. Прадэманстравана, што распрацаваныя і апрабаваныя ў работе падыходы феномнага аналізу з'яўляюцца эфектыўным і аб'ектыўным інструментам для ацэнкі фізіялагічнага стану і маніторынгу яго змянення ў розных умовах культивавання. Фенатыпіраванне раслін розных відаў у асэптычнай культуры, у працэсе адаптациі да ўмоў *ex vitro*, а таксама пры ўкараненні ў нестэрильных умовах паказала высокадакладны інтэрпрэтаваны вынік, які ўзгадняеца з данымі класічных роставых тэстаў.

## **GENERAL WORK DESCRIPTION**

Master's dissertation 77 p., 19 pict., 2 tables, 155 references, 2 append.

**PHENOMICS, PHENOTYPING, IMAGE ANALYSIS, PLANT PHYSIOLOGY, MACHINE LEARNING, NEURAL NETWORK**

The objects of the study were cuttings, microclones, and young seedlings of higher plants, including common spruce (*Picea abies* (L.) H. Karst.), rocky mountain juniper (*Juniperus scopulorum* Sarg.), common yew (*Taxus baccata* L.), northern white-cedar (*Thuja occidentalis* L.), easter tree (*Forsythia × intermedia* (L.) Vahl), japanese quince (*Chaenomeles japonica* (Thunb.) Lindl. Ex Spach) and arabidopsis (*Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh.).

The aim of the present work was to analyze the morpho-physiological characteristics of some higher plants species at various stages of ontogenesis using digital phenotyping approaches based on computer vision and machine learning algorithms.

The main research methods: technology of woody plant *in vitro* culture generation and maintenance; method of removing microclones from the *in vitro* system; technique of woody plant green cutting; technique for cultivating arabidopsis plants in Petri dishes and soil; phenotyping of *in vitro* plants and in soil substrates.

As a result of the work, modern data on the problem of plant phenotyping were systematized and presented in the form of an analytical review. Japanese quince (*Chaenomeles japonica* (Thunb.) Lindl. Ex Spach) was introduced into the *in vitro* culture. The technique was mastered and a model experiment was put out to remove easter tree microclones (*Forsythia × intermedia* L., Vahl) in *ex vitro* conditions using priming treatment; as well as methodology of green cutting and subsequent rooting of various species woody plants was developed. It has been demonstrated that the developed and tested in the work phenomics analysis approaches are an effective and objective tool for assessing the physiological state and monitoring its changes in various cultivation conditions. Phenotyping of plants of various species in aseptic culture in the process of adaptation to *ex vitro* conditions, as well as rooting in non-sterile conditions, showed a highly accurate interpreted result, consistent with the data of classical growth tests.