



БЕЛОРУССКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ЖУРНАЛ
БЕЛОРУССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

ЭКОЛОГИЯ

JOURNAL
OF THE BELARUSIAN STATE UNIVERSITY

ECOLOGY

Издается с сентября 2017 г.
(до 2017 г. – «Экологический вестник»)
Выходит 1 раз в квартал

3

2025

МИНСК
БГУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор	РОДЬКИН О. И. – доктор биологических наук, доцент; директор Международного государственного экологического института им. А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь. E-mail: info@iseu.by
Заместитель главного редактора	ГЕРМЕНЧУК М. Г. – кандидат технических наук, доцент; заместитель директора по научной работе Международного государственного экологического института им. А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь. E-mail: germenchuk@iseu.by
Ответственный секретарь	ЛОЗИНСКАЯ О. В. – старший преподаватель кафедры общей биологии и генетики Международного государственного экологического института им. А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь. E-mail: aromia@rambler.ru
<i>Батян А. Н.</i>	Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
<i>Головатый С. Е.</i>	Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
<i>Голубев А. П.</i>	Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
<i>Гричик В. В.</i>	Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
<i>Дардынская И. В.</i>	Центр всемирного здоровья «Великие озера», Чикаго, США.
<i>Дзятковская Е. Н.</i>	Институт стратегии развития образования Российской академии образования, Москва, Россия.
<i>Дроздович В. В.</i>	Национальный институт рака, США, Бетесда.
<i>Зафранская М. М.</i>	Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
<i>Кильчевский А. В.</i>	Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь.
<i>Коноплев А. В.</i>	Институт радиоактивности окружающей среды университета г. Фукусима, Япония.
<i>Коровин Ю. А.</i>	Обнинский институт атомной энергетики – Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Обнинск, Россия.
<i>Ленгфельдер Э.</i>	Радиологический институт здоровья и окружающей среды им. Отто Хуга, Мюнхен, Германия.
<i>Либератос Г.</i>	Афинский технический университет, Афины, Греция.
<i>Линге И. И.</i>	Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук, Москва, Россия.
<i>Лукашенко С. Н.</i>	Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, Обнинск, Россия.
<i>Логинов В. Ф.</i>	Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь.
<i>Медведев С. В.</i>	ГНУ «Объединенный институт проблем информатики» Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь.
<i>Набиев И. Р.</i>	Реймский университет, Франция, Реймс.
<i>Степанов С. А.</i>	Международный независимый эколого-политологический университет, Москва, Россия.
<i>Стожаров А. Н.</i>	Белорусский государственный медицинский университет, Минск, Беларусь.
<i>Тарутин И. Г.</i>	ГУ «РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н. Н. Александрова», Минск, Беларусь.

EDITORIAL BOARD

- Editor-in-chief** **RODZKIN O. I.**, doctor of science (biology), docent; International Sakharov Environmental Institute of the Belarusian State University, Minsk, Belarus.
E-mail: info@iseu.by
- Deputy editor-in-chief** **GERMENCHUK M. G.**, PhD (engineering), docent; deputy director for research of the International Sakharov Environmental Institute of the Belarusian State University, Minsk, Belarus.
E-mail: germenchuk@iseu.by
- Executive secretary** **LOZINSKAYA O. V.**, senior lecturer at the department of general biology and genetics of the International Sakharov Environmental Institute of the Belarusian State University.
E-mail: aromia@rambler.ru
-
- Batyan A. N.* International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.
- Golovaty S. E.* International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.
- Golubev A. P.* International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.
- Grichik V. V.* Belarusian State University, Minsk, Belarus.
- Dardynskaya I. V.* Great Lakes Center for Occupational and Environmental Safety and Health, Chicago, USA.
- Dziatkovskaya E. N.* Institute of Education Development Strategy of the Russian Academy of Education, Moscow, Russia.
- Drozdovitch V. V.* Radiation Epidemiology Branch, DCEG (Division of Cancer Epidemiology and Genetics), National Cancer Institute, Bethesda MD.
- Zafranskaya M. M.* International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Belarus.
- Kilchevsky A. V.* National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.
- Konoplev A. V.* Environmental Radioactivity Institute, Fukushima University, Japan.
- Korovin Y. A.* Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, Obninsk, Russia.
- Lengfelder E.* Otto Hug Radiological Institute for Health and Environment, Munich, Germany.
- Lyberatos G.* Athens Technical University, Athens, Greece.
- Linge I. I.* Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.
- Lukashenko S. N.* Russian Institute of Radiology and Agroecology, Obninsk, Russia.
- Loginov V. F.* National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.
- Medvedev S. V.* The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus.
- Nabiev I. R.* University of Reims Champagne-Ardenne (URCA), France.
- Stepanov S. A.* International Independent Ecological and Political University, Moscow, Russia.
- Stozharov A. N.* Belarusian State Medical University, Minsk, Belarus.
- Tarutin I. G.* N. N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus, Minsk, Belarus.

УДК 582.711.31:581.2

СОДЕРЖАНИЕ ЭКЗОГЕННЫХ И ЭНДОГЕННЫХ БРАССИНОСТЕРОИДОВ В ЛУКОВИЧНЫХ КУЛЬТУРАХ РОДОВ *TULIPA* И *HYACINTHUS*

Т. В. КАЛЕНЧУК¹), А. Г. ЧЕРНЕЦКАЯ²)

¹)Полесский государственный университет,
ул. Днепровской флотилии, 23, 225710, г. Пинск, Беларусь

²)Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,
Белорусский государственный университет,
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь

Луковичные растения занимают одно из ведущих мест среди огромного разнообразия травянистых многолетников. К этой группе относятся такие весеннецветущие культуры, как тюльпаны и гиацинты. Объединяет их наличие подземного запасящего органа – луковицы и схожесть жизненного цикла, хотя относятся они к разным семействам: тюльпаны – самые яркие представители семейства лилейных (*Liliaceae* L.), а гиацинты – семейства гиацинтовых (*Hyacinthaceae* L.). Применение биологически активных веществ в цветоводстве позволяет более полно реализовать потенциальные возможности растений за счет регулирования таких важных процессов, как закладка и рост корней, рост стебля, листьев, переход к цветению, продолжительность цветения, а также за счет снижения повреждающего действия неблагоприятных факторов окружающей среды. Установлено, что при обработке различных цветочно-декоративных культур в концентрациях 0,00025 % (эпибрассинолид) и 0,000375 % (гомобрассинолид) на литр водного раствора наблюдается заметный ростостимулирующий и адаптогенный эффект, приводящий к увеличению сроков цветения, повышению качества продукции и устойчивости растений к неблагоприятным условиям и болезням. Известно также, что некоторые синтетические аналоги брассиностероидов проявляют заметную биологическую активность, сопоставимую с природными аналогами. Эти факторы обуславливают научный и практический интерес к синтезу и исследованию производных брассиностероидов, а также к разработке удобных, высокочувствительных и быстрых методов их анализа. Впервые в Беларуси нами изучено влияние брассиностероидов на морфометрические параметры 22 сортов тюльпанов, 10 сортов гиацинтов. В работе показаны результаты проведения иммуноферментного анализа эндогенного содержания брассиностероидов в органах растений рода *Tulipa* L. и *Hyacinthus* L. Эндогенное содержание брассиностероидов (БС) в вегетативных и генеративных органах луковичных растений показало, что количество гормонов в луковицах и побегах в десятки раз превышает их содержание в цветах.

Ключевые слова: фитогормоны; эпибрассинолиды; гомобрассинолиды; *Tulipa*; *Hyacinthus*; иммуноферментный анализ.

Образец цитирования:

Каленчук ТВ, Чернецкая АГ. Содержание экзогенных и эндогенных брассиностероидов в луковичных культурах родов *Tulipa* и *Hyacinthus*. Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2025;3:42–50.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2025-3-42-50>

For citation:

Kalenchuk TV, Chernetskaya AG. Content of exogenous and endogenous brassinosteroids in bulbous crops of the genera *Tulipa* and *Hyacinthus*. Journal of the Belarusian State University. Ecology. 2025;3:42–50. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2025-3-42-50>

Авторы:

Татьяна Владимировна Каленчук – старший преподаватель кафедры биохимии и биоинформатики.
Алла Георгиевна Чернецкая – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; заведующий кафедрой общей биологии и генетики.

Authors:

Tatiana V. Kalenchuk, senior lecturer at the department of biochemistry and bioinformatics.
chrysanthemum@list.ru
Alla G. Chernetskaya, PhD (agriculture), docent; head of the department of general biology and genetics.
chealval@gmail.com

CONTENT OF EXOGENOUS AND ENDOGENOUS BRASSINOSTEROIDS IN BULBOUS CROPS OF THE GENERA *TULIPA* AND *HYACINTHUS*

T. V. KALENCHUK^a, A. G. CHERNETSKAYA^b

^aPolessky State University,

23 Dneprovskoy Flotilii Street, Pinsk 225710, Belarus

^bInternational Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University,

23/1 Daŭhabrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus

Corresponding author: T. V. (@bk.ru)

Bulbous plants occupy one of the leading positions among the vast diversity of herbaceous perennials. This group includes spring-flowering crops such as tulips and hyacinths. They are united by the presence of an underground storage organ – the bulb and by the similarity of their life cycle, although they belong to different families: tulips are the brightest representatives of the *Liliaceae* L. family, while hyacinths belong to the *Hyacinthaceae* L. family. The use of biologically active substances in floriculture allows for a fuller realization of the potential capabilities of plants by regulating such important processes as root formation and growth, stem and leaf development, transition to flowering, duration of flowering, as well as by reducing the damaging effects of adverse environmental factors. It has been established that treatment of various ornamental-flowering crops with concentrations of 0.00025 % (epibrassinolide) and 0.000375 % (homobrassinolide) per liter of aqueous solution results in a noticeable growth-promoting and adaptogenic effect, leading to extended flowering periods, improved product quality, and enhanced plant resistance to unfavorable conditions and diseases. It is also known that some synthetic analogs of brassinosteroids exhibit significant biological activity comparable to that of natural brassinosteroids [2]. These factors determine the scientific and practical interest in the synthesis and study of brassinosteroid derivatives, as well as in the development of convenient, highly sensitive, and rapid methods of their analysis. For the first time in Belarus, we studied the influence of brassinosteroids on the morphometric parameters of 22 tulip cultivars and 10 hyacinth cultivars. The article presents the results of enzyme immunoassay analysis of endogenous brassinosteroid content in the organs of plants of the genera *Tulipa* L. and *Hyacinthus* L. Determination of endogenous brassinosteroid levels in the vegetative and generative organs of bulbous plants showed that the amount of hormones in bulbs and shoots exceeds their content in flowers by dozens of times.

Keywords: phytohormones; epibrassinolides; homobrassinolides; *Tulipa*; *Hyacinthus*; enzyme immunoassay.

Введение

Браassinостероиды – стрессовые адаптогены, обладающие сильной фиторосто-стимулирующей активностью. Их отличительная особенность – действие на рост растений в очень низких концентрациях (1–200 частей на миллиард). Установлено, что индукция активности α -амилазы и прорастание семян ячменя вызываются экзогенным эпибрассинолидом (ЭБ) в концентрации 10^{-8} М, в то время как гиббереллином – 10^{-4} М [1]. Рострегулирующий эффект соединений проявлялся при введении экзогенного ЭБ в растения различными способами: полусухой обработкой семян, их инкрустацией и замачиванием, а также опрыскиванием растений.

Скорость поглощения и передвижения эпибрассинолида (ЭБ) в растениях является очень важным показателем механизма действия этого регулятора. Поступление и транспорт ^{14}C -эпибрассинолида в корни, молодые и зрелые листья, апексы проростков огурца и пшеницы показали [2], что при введении препарата в корни ^{14}C -эпибрассинолид легко усваивался и быстро транспортировался у обоих видов растений.

Попытки объяснить механизм рострегулирующих реакции, обусловленных действием ЭБ, остаются пока до конца не выясненными. Вместе с тем получен большой объем данных, свидетельствующих о наличии сложных взаимодействий ЭБ с фитогормональной системой растений. Установлено, что браassinостероиды изменяют ауксиновый обмен растений ячменя, усиливают биосинтез индолилуксусной кислоты (ИУК), подавляют или не изменяют активность оксидазы ИУК. В связи с этим эффект БС на вегетативный рост растений объясняется его воздействием сначала на содержание и активность ауксинов и цитокининов, а затем на уровень абсцизовой кислоты (АБК) и оксикоричных кислот, что обуславливает переход растений от вегетативного состояния к генеративному [3].

На территории нашей республики активно проводились исследования в области влияния гормонов роста на цветочно-декоративные культуры.

В 2017 г. А. А. Думнова, изучая влияния различных субстратов на зимнюю выгонку растений рода *Lilium*, при использовании фитостимуляторов определила, что длина цветоносов меняется в зависимости от типа грунта и применяемого фитостимулятора. Лилии сорта Курьер, обработанные эпином и цирконом, показали лучшую динамику роста на специальном грунте и перлите. Кроме того, увеличение длины

цветоноса происходило не рывками, а равномерно на протяжении всего выгоночного периода. Другие субстраты дали более короткий цветонос [4].

В статье Г. М. Пугачевой и др. [5] представлены результаты обработок луковичек трубчатых лилий регуляторами роста перед посадкой и во время вегетации. Максимальное увеличение энергии прорастания (до 47 %) отмечалось под влиянием обработки новосилом (2 мл/л). Во время вегетации обработка лариксином (0,3 мл/л) дала увеличение биометрических показателей (количество листьев увеличилось на 45 %, суммарная площадь листьев – 69, диаметр луковичек – 25 % по сравнению с контролем). Эмистим с нормой расхода 1 мл/га на азиатских лилиях положительно повлиял на высоту растений, диаметр цветов и длину листьев [6].

В статьях А. А. Хугаевой рассматривается возможность применения некоторых стимуляторов роста для выращивания рассады цветочных культур. Данные препараты повышают всхожесть семян, стойкость растений к заболеваниям и оказывают положительное влияние на декоративные качества цветочных культур. Результатом использования ростостимуляторов становится возможность создания красивых, декоративно-функциональных цветников для озеленения городской среды. Ей установлено, что все препараты проявили явный эффект стимулирования, по интенсивности влияния на всхожесть семян определен Эпин-Экстра, всхожесть семян – 77–88 % [6].

Экологически безопасные высокоэффективные регуляторы роста растений для цветочно-декоративных культур изучали К. Е. Усова, С. Л. Белопухов, И. Г. Шайхиев. Ученые использовали для этого широко применяемые на цветочно-декоративных культурах препараты «Эпин» и «Эпин-Экстра», действующим веществом (д. в.) которых является 2,4-эпибрассинолид, принадлежащий к классу брассиностероидов, природных гормонов растений. Он является эффективным иммуномодулятором, повышает устойчивость растений к стрессовым факторам, в том числе к воздействию пониженных температур и заморозкам. «Эпин» рекомендован к применению на таких цветочных культурах, как гладиолусы, тюльпаны, крокусы, гелениум, хризантеме корейской, на которых усиливает корнеобразование, рост растений, улучшает приживаемость после пересадки, ускоряет переход растений к цветению. Также применяется при черенковании роз для повышения процента укоренения. Действующее вещество «Эпина» – 2,4-эпибрассинолид, по данным М. А. Лево́й, повышает устойчивость тюльпанов классов Кауфмана и Грейга к серой гнили. Замачивание луковиц тюльпанов перед выгонкой на сутки в растворе эпина увеличивало в урожае количество луковиц крупных фракций (II и III разбора). Обработка эпином растений львиного зева вызывала увеличение высота растений в среднем на $14,8 \pm 0,7$ см [7].

Результаты исследований М. А. Лево́й позволяют сделать вывод, что обработка луковиц и растений тюльпанов класса Кауфмана и класса Грейга фиторегуляторами дает возможность более «экологично» повысить устойчивость растений и луковиц к вирусу пестролепестности в период вегетации, получить их более качественный урожай. Лучшие результаты получены при использовании эпибрассинолида с различной концентрацией и мальтамина. Проведенные исследования показали, что наиболее устойчивы сорта Brilliant, Whisper, Scarlet Baby, Oriental Beauty [7].

К вопросу оценки декоративных качеств срезочных сортов чайно-гибридной розы при выращивании на гидропонике обращался А. Н. Плешаков. Роза является лидером в культивировании срезочных культур, декоративность которой не вызывает сомнений. Повышение привлекательности букетных цветов является приоритетной задачей современного промышленного цветоводства. Ряд регуляторов роста растений способны значительно улучшить декоративные качества цветочно-срезочной продукции. При проведении исследований ученым доказано, что иммуномодуляторы, обладающие протекторными функциями, существенно увеличивали ценные декоративные и хозяйственные свойства сортов чайно-гибридных роз, выращиваемых на малообъемной гидропонике. При трехкратной обработке растений розы Эпином-Экстра отмечено повышение размера цветка и его махровости. Бордово-красный сорт Ред Наоми в меньшей степени подвергался инсоляционному воздействию солнечных лучей и сохранял типичную для этого сорта окраску. Применение регулятора роста повышало длину и прочность цветоноса. У чайно-гибридной розы сорта Аваланж заметно повышался срок стояния букета в вазоне [8].

Е. М. Старостенковой изучено влияние фиторегуляторов Гетероауксин и Эпин-Экстра на повышение коэффициента размножения луковиц гиацинта восточного методом крестообразного надрезания донца. Сделан вывод о положительном влиянии регуляторов роста и развития растений на образование «деток» гиацинта [9].

Сегодня востребованы экологически безопасные средства фитоиммунокоррекции на основе природных веществ. И брассиностероиды могут справиться с этим, ибо подготавливают ткани сельскохозяйственных культур к быстрому включению защитных реакций в момент проникновения инфекции. Например, рассматриваемые фитогормоны уменьшают степень поражения растений табака черной гнилью и вирусом табачной мозаики, увеличивают урожай листьев табака, улучшают качество их сырья, а также защищают картофель от фитофторы. Фитогормоны – важнейшие представители эндогенной регуляторной системы. Их отличительной чертой является способность действовать в очень малых дозах, выполняя роль

регуляторов основных физиологических процессов (деления и роста клеток, состояния покоя, регуляции работы устьиц и др.) [10]. Обработанные соответствующим препаратом перед закладкой на хранение его клубни меньше прорастают, не страдают от «атак» фитопатогенных микроорганизмов. Аналогичный эффект достигается при опрыскивании растений картофеля в фазу бутонизации. Стероидные гормоны, нанесенные на пестик цветка тритикале, повышают его устойчивость к заболеванию фузариозом.

Итак, обработка растений фитогармонами способствует преодолению негативного действия факторов разной природы, а следовательно, помогает повысить урожай. Поэтому важно продолжить изучение механизмов их действия, оценить роль в системе «почва – растение», определить эффект использования в зависимости от экологических условий. Тем более, что речь идет о технологиях, основанных на применении чрезвычайно низких количеств природных соединений (своего рода нанопестицидов), немутагенных, обладающих крайне незначительной токсичностью.

За последние 30 лет теория гормональной регуляции обогатилась огромным экспериментальным материалом. Показано, что каждый из фитогормонов связан с другими и проявляет свою активность в сочетании с действием всей системы, при этом соотношение компонентов в отдельных этапах онтогенеза различно.

Многие результаты теоретических исследований нашли применение в практике современного растениеводства [1]. Зная, какие эндогенные регуляторы роста важны на конкретном этапе, каждый из них необходим для нормального цветения и плодоношения. Таким образом, можно целенаправленно изменять темпы роста и развития растений. Синтезировано большое число химических препаратов, обладающих сходным с природными регуляторами роста действием, получены заводским способом природные фитогормоны [2].

Цель исследования – определение содержания экзогенных и эндогенных брассиностероидов в луковичных культурах сортов родов *Tulipa* L. и *Hyacinthus* L., входящих в коллекцию Центрального ботанического сада НАН Беларуси.

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось в ИБОХ НАН Беларуси в лаборатории химии стероидов. Изучалось влияние 24-эпибрассинолида и 28-гомобрассинолида на рост и развитие 6 сортов гиацинтов и 10 сортов тюльпанов. Основными критериями отбора исследуемых сортов являлись новизна сорта в коллекции, небольшой коэффициент размножения и низкая устойчивость к заболеваниям.

Опыт ставился в 5 вариантах. Схема постановки опыта: обработка 2-кратная с интервалом 2 недели в стадии отрастания и начала бутонизации данных сортов. Вариант 1 – контроль (дистиллированная вода), вариант 2 – раствор ЭБ 10^{-7} , вариант 3 – раствор ЭБ 10^{-9} , вариант 4 – раствор ГБ 10^{-7} , вариант 5 – раствор ГБ 10^{-9} .

В каждом варианте обрабатывали по 15 растений в 4-кратной повторности. Растения обрабатывались методом опрыскивания, до стекания первой капли с листа, по методике С. П. Потапова использовался разбрызгиватель ручной $V = 1000$ мл.

Растительный материал собирали в стадии массового цветения каждого сорта для конкретной культуры. Из каждого варианта брали по три растения согласно, методики первичного сортоизучения цветочных по В. И. Болгову и др. (1998 г.). Для выделения фракций, содержащей брассиностероиды, из вегетативной (лист, луковича) и генеративной (цветок) части пробы собирали в полевых условиях по схеме опыта. Для определения эндогенного уровня БС растительные образцы подвергали глубокой заморозке при температуре -24 °С и лиофильно высушивали. Лيوфилизацию растительных образцов проводили под вакуумом с помощью сублимационной камеры *FreeZone (Labconco, США)*. Лيوфилизированные образцы взвешивали, измельчали, гомогенизировали в 3–5 мл буферного раствора (0,05 М трис, pH 7,4). Буферный экстракт центрифугировали в течении 20 мин на центрифуге *BioSan LMC4200R (BioSan, Латвия, 3000 об./мин)*. Полученный супернатан разводили и количественно анализировали в нем содержание стероидных гормонов группы 24-эпибрассинолида и группы 28-гомобрассинолида методом двухстадийного иммуноферментного анализа.

Исследование динамики экзогенных и эндогенных брассиностероидов были выполнены на базе лаборатории химии стероидов Института биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси с использованием разработанных иммуноферментных тест-систем.

Статистическую обработку полученных данных осуществляли с помощью программы *Microsoft Office Excel 2007*.

Нами проанализировано содержание основных групп брассиностероидов, отличающихся как по количеству атомов углерода в молекуле – С28 (24-эпибрассинолид) и С29 (28-гомобрассинолид), так и по конфигурации заместителей в боковой цепи – 24R-метил (24-эпибрассинолид) и 24S-этил (28-гомобрассинолид).

Результаты исследования и их обсуждение

К группе основных весеннецветущих культур относятся тюльпаны и гиацинты. Основными задачами цветоводов является получение здоровых и высокодекоративных растений, что включает увеличение сроков цветения, высоты побега и цветочного бокала, а также устойчивости растений к неблагоприятным условиям и болезням. Установлено, что при обработке различных цветочно-декоративных культур в концентрациях 0,00025 % (эпибрассинолид) и 0,000375 % (гомобрассинолид) на литр водного раствора наблюдается заметный ростостимулирующий и адаптогенный эффект, приводящий к повышению качества продукции. Известно также, что некоторые синтетические аналоги брассиностероидов проявляют заметную биологическую активность, сопоставимую с природными брассиностероидами [10].

Исследование динамики экзогенных и эндогенных брассиностероидов были выполнены на базе лаборатории химии стероидов Института биоорганической химии НАН Беларуси с использованием отечественных иммуноферментных тест-систем. Нами было проанализировано содержание основных групп брассиностероидов, отличающихся как по количеству атомов углерода в молекуле – C28 (24-эпибрассинолид) и C29 (28-гомобрассинолид), так и по конфигурации заместителей в боковой цепи – 24R-метил (24-эпибрассинолид) и 24S-этил (28-гомобрассинолид) в вегетативных (луковица, побег) и генеративных (цветок) органах тюльпанов (табл. 1). Контролем служили необработанные растения. Проведен сравнительный анализ количества экзогенных и эндогенных брассиностероидов на примере 4 садовых групп 10 сортов тюльпанов разных сроков цветения: Дарвиновы (Ollioules, Golden Apeldoorn, Hatsuzakura), Фостера (Ognik, Purissima), Триумф (Dynasty, Leen van der Mark, Leo Visser), Бахромчатые (Fringed Golden Apeldoorn, Cummins).

Исследование эндогенного содержания БС в вегетативных и генеративных органах луковичных растений свидетельствует, что количество всех анализируемых групп стероидных гормонов в луковицах ($11,14 \pm 0,34$) в 62 раза превышало их содержание в цветах ($0,18 \pm 0,03$), в побегах ($4,33 \pm 0,23$) в 24 раза их содержания в цветках. В органах всех сортов тюльпанов, обработанных растворами в концентрации ЭБ 10^{-7} , ЭБ 10^{-9} , ГБ 10^{-7} и ГБ 10^{-9} количество всех анализируемых групп стероидных гормонов в луковицах ($43,66 \pm 0,89$) в 18 раз превышало их содержание в цветах ($2,41 \pm 0,20$), в побегах ($12,17 \pm 0,63$) в 5 раз их содержания в цветках (рис. 1). Полученные результаты коррелируются с ранее полученными данными по морфометрическим параметрам. При этом наилучшие результаты по накоплению брассиностероидов были получены при обработке луковиц ЭБ 10^{-9} ($24,69 \pm 1,76$) и ГБ 10^{-9} ($29,31 \pm 0,57$), что в 2 раза превышает контрольные измерения.

Также было проанализировано содержание основных групп брассиностероидов в вегетативных (луковица, побег) и генеративных (цветок) органах гиацинтов (табл. 2). Контролем служили необработанные растения. Проведен сравнительный анализ количества экзогенных и эндогенных брассиностероидов на примере 6 сортов гиацинтов разных сроков цветения и высоты: Anna Lisa, Perle Brilliante, Grand Maitre, Blue Eyes, La Victoire, Doctor Krueger (рис. 2).

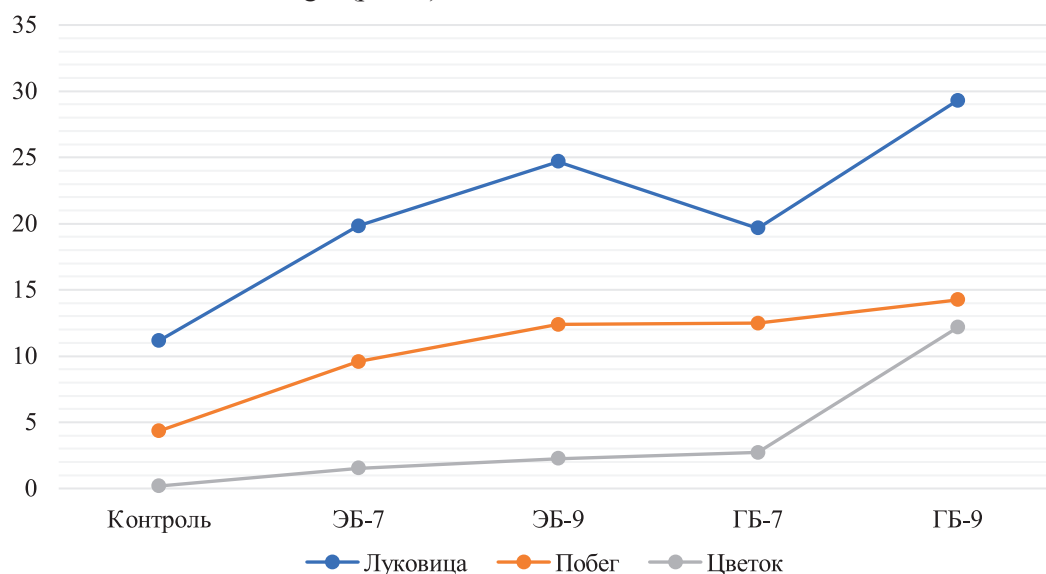


Рис. 1. Содержания брассиностероидов в органах растений рода *Tulipa*, мг

Fig. 1. Content of brassinosteroids in the organs of *Tulipa* plants, mg

Экзогенные и эндогенные брассиностероиды в вегетативных и генеративных органах луковичных культур рода *Tulipa*

Table 1

Exogenous and endogenous brassinosteroids in the vegetative and generative organs of bulbous crops of the genus *Tulipa*

Название сорта	Органы растения	Среднее количество брассиностероидов, мг*				
		Контроль	24-эпибрасинолид		28-гомобрасинолид	
			10 ⁻⁷	10 ⁻⁹	10 ⁻⁷	10 ⁻⁹
Ollioules	Луковица	11,30 ± 0,34	20,07 ± 1,12	24,38 ± 2,22	17,44 ± 0,25	21,41 ± 0,23
	Побег	3,31 ± 0,28	8,24 ± 0,46	10,74 ± 0,84	9,52 ± 0,42	10,97 ± 0,61
	Цветок	0,11 ± 0,02	0,91 ± 0,12	1,5 ± 0,21	1,82 ± 0,17	1,92 ± 0,08
Golden Apeldoorn	Луковица	11,17 ± 0,18	21,12 ± 0,09	23,83 ± 1,71	16,99 ± 0,27	20,32 ± 0,33
	Побег	4,01 ± 0,23	8,43 ± 0,32	11,02 ± 0,79	10,02 ± 0,34	11,07 ± 0,61
	Цветок	0,10 ± 0,02	0,85 ± 0,10	1,7 ± 0,31	2,02 ± 0,11	2,02 ± 0,06
Hatsuzakura	Луковица	12,03 ± 0,14	20,02 ± 0,07	24,81 ± 2,01	17,32 ± 0,31	22,02 ± 0,52
	Побег	3,52 ± 0,30	9,03 ± 0,25	12,13 ± 0,85	9,48 ± 0,22	11,12 ± 0,81
	Цветок	0,11 ± 0,03	0,87 ± 0,13	1,3 ± 0,44	1,71 ± 0,14	1,88 ± 0,05
Dynasty	Луковица	8,79 ± 0,41	30,19 ± 4,18	23,70 ± 1,20	23,26 ± 0,20	51,70 ± 1,53
	Побег	4,95 ± 0,40	22,66 ± 0,45	10,34 ± 0,51	16,59 ± 0,31	17,59 ± 0,19
	Цветок	0,26 ± 0,03	4,99 ± 0,64	2,97 ± 0,06	3,58 ± 0,33	4,12 ± 0,18
Leen van der Mark	Луковица	11,15 ± 0,91	13,87 ± 0,22	24,38 ± 2,22	22,66 ± 0,45	35,54 ± 0,040
	Побег	3,09 ± 0,16	6,78 ± 0,51	15,19 ± 0,57	13,87 ± 1,29	15,40 ± 1,40
	Цветок	0,19 ± 0,01	1,18 ± 0,06	3,25 ± 0,15	2,64 ± 0,01	3,79 ± 0,24
Leo Visser	Луковица	12,05 ± 0,79	14,02 ± 0,32	23,23 ± 1,98	23,14 ± 0,36	35,54 ± 0,040
	Побег	2,98 ± 0,11	7,12 ± 0,45	14,99 ± 0,43	14,08 ± 1,31	15,40 ± 1,40
	Цветок	0,15 ± 0,01	1,23 ± 0,04	3,41 ± 0,17	3,01 ± 0,02	4,05 ± 0,31
Fringed Golden Apeldoorn	Луковица	8,79 ± 0,06	16,37 ± 1,08	25,48 ± 1,37	19,38 ± 0,49	30,96 ± 0,92
	Побег	5,62 ± 0,13	6,39 ± 0,14	11,38 ± 0,87	12,96 ± 0,20	17,96 ± 0,80
	Цветок	0,26 ± 0,02	1,36 ± 0,13	1,94 ± 0,11	3,39 ± 0,33	4,23 ± 0,28
Cummins	Луковица	9,01 ± 0,08	17,03 ± 1,18	26,04 ± 1,51	20,11 ± 0,91	31,16 ± 1,12
	Побег	6,16 ± 0,15	6,85 ± 0,21	12,38 ± 0,93	13,06 ± 0,32	18,48 ± 0,93
	Цветок	0,31 ± 0,04	1,66 ± 0,17	2,01 ± 0,13	4,21 ± 0,47	4,77 ± 0,37
Purissima	Луковица	13,17 ± 0,23	23,42 ± 0,11	25,81 ± 1,25	18,09 ± 0,39	21,33 ± 0,33
	Побег	5,11 ± 0,15	9,93 ± 0,52	12,42 ± 0,99	11,72 ± 0,64	12,27 ± 0,81
	Цветок	0,15 ± 0,05	1,05 ± 0,13	2,7 ± 0,51	2,82 ± 0,21	2,62 ± 0,08
Ognik	Луковица	14,03 ± 0,24	22,12 ± 0,10	25,23 ± 2,11	18,11 ± 0,42	23,14 ± 0,62
	Побег	4,51 ± 0,42	10,33 ± 0,23	13,18 ± 0,95	10,18 ± 0,27	12,17 ± 0,93
	Цветок	0,17 ± 0,05	1,07 ± 0,16	1,7 ± 0,48	1,91 ± 0,18	2,04 ± 0,08

Примечание. * – среднее/стандартная ошибка (среднего).

Таблица 2

Экзогенные и эндогенные brassinosterоиды в вегетативных и генеративных органах луковичных культур рода *Hyacinthus*

Table 2

Exogenous and endogenous brassinosterоids in the vegetative and generative organs of bulbous crops of the genus *Hyacinthus*

Название сорта	Органы растения	Среднее количество brassinosterоидов, мг*				
		Контроль*	24-эпибрассинолид		28-гомобрассинолид	
			10 ⁻⁷	10 ⁻⁹	10 ⁻⁷	10 ⁻⁹
Anna Lisa	Луковица	11,37 ± 0,12	16,59±0,31	23,70 ± 1,20	31,24 ± 1,24	47,76 ± 0,28
	Побег	4,52 ± 0,04	7,48 ± 0,24	13,87 ± 1,29	17,59 ± 0,19	31,83 ± 0,80
	Цветок	0,54 ± 0,01	1,61 ± 0,07	2,12 ± 0,07	4,13 ± 0,18	11,25 ± 0,05
Perle Brilliante	Луковица	9,68 ± 0,32	60,67 ± 1,65	50,55 ± 1,54	47,76 ± 0,28	57,31 ± 0,67
	Побег	3,81 ± 0,39	41,67 ± 1,05	33,42 ± 0,70	22,97 ± 0,45	32,84 ± 1,40
	Цветок	0,34 ± 0,02	22,34 ± 0,86	12,15 ± 0,91	12,96 ± 0,20	13,65 ± 0,22
Grand Maitre	Луковица	14,03 ± 0,18	52,63 ± 2,52	42,85 ± 1,18	55,49 ± 1,44	64,26 ± 2,36
	Побег	5,83 ± 0,43	16,24 ± 0,01	14,69 ± 0,23	19,95 ± 0,14	22,66 ± 0,45
	Цветок	0,86 ± 0,01	5,48 ± 0,13	3,25 ± 0,07	4,13 ± 0,18	6,47 ± 0,10
Blue Eyes	Луковица	9,12 ± 0,18	69,82 ± 1,36	60,66 ± 0,86	60,67 ± 1,65	64,79 ± 0,18
	Побег	3,09 ± 0,16	57,31 ± 0,67	39,38 ± 0,49	31,66 ± 0,42	48,13 ± 0,18
	Цветок	0,29 ± 0,04	30,96 ± 0,92	26,38 ± 1,12	22,97 ± 0,96	24,06 ± 0,23
La Victoire	Луковица	10,17 ± 0,10	15,22 ± 0,21	22,90 ± 1,00	29,74 ± 1,18	45,16 ± 0,18
	Побег	3,52 ± 0,02	6,48 ± 0,15	12,17 ± 1,09	16,09 ± 0,17	30,13 ± 0,60
	Цветок	0,37 ± 0,01	2,81 ± 0,09	1,92 ± 0,04	3,13 ± 0,13	9,75 ± 0,02
Doctor Krueger	Луковица	7,86 ± 0,23	13,67 ± 1,32	23,02 ± 0,90	29,44 ± 1,04	43,21 ± 0,11
	Побег	2,93 ± 0,30	6,48 ± 0,15	11,97 ± 1,05	15,89 ± 0,11	28,93 ± 0,36
	Цветок	0,25 ± 0,01	2,81 ± 0,09	1,74 ± 0,03	2,98 ± 0,11	7,82 ± 0,01

Примечание. * – среднее/стандартная ошибка (среднего).

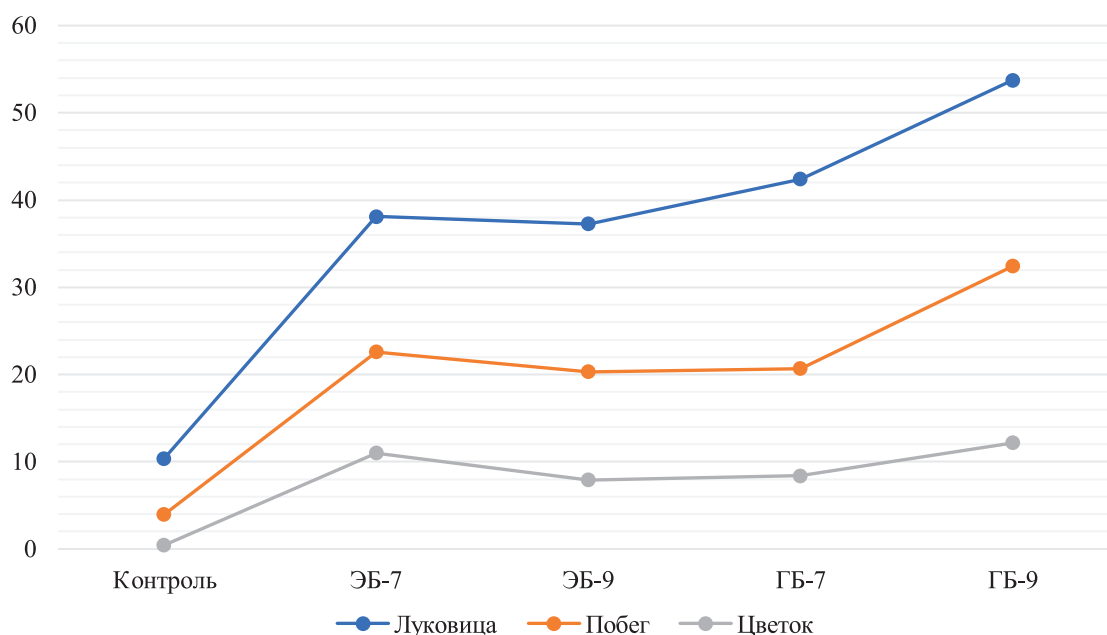


Рис. 2. Содержания brassinosterоидов в органах растений рода *Hyacinthus*, мг

Fig. 2. Brassinosterоid content in organs of *Hyacinthus* plants, mg

Исследование эндогенного содержания БС в вегетативных и генеративных органах луковичных растений показало, что количество всех анализируемых групп стероидных гормонов в луковицах ($10,37 \pm 0,19$) в 10 раз превышало их содержание в цветах ($0,44 \pm 0,016$), в побегах ($3,95 \pm 0,22$) в 3 раза их содержания в цветках. В органах всех сортов тюльпанов, обработанных растворами в концентрации ЭБ10⁻⁷, ЭБ10⁻⁹, ГБ10⁻⁷ и ГБ10⁻⁹, количество всех анализируемых групп стероидных гормонов в луковицах ($36,40 \pm 1,18$) в 4,5 раза превышало их содержание в цветах ($8,00 \pm 0,29$), в побегах ($4,5 \pm 0,62$) в 2,5 раза их содержания в цветках.

При этом наилучшие результаты по накоплению brassinosteroidов были получены при обработке луковиц ЭБ10⁻⁷ ($42,39 \pm 1,14$) и ГБ 10⁻⁹ ($53,75 \pm 0,63$), что в 4 и 5 раз превышает контрольные измерения соответственно (рис. 2).

Анализируя внешний вид растений и профиль БС, мы обнаружили, что в культуре гиацинтов их больше, чем в тюльпанах. Сорт «Blue Eyes» наряду с интенсивным развитием характеризовался высоким содержанием практических всех групп БС, особенно эпибрасиностероидов.

Заключение

Эндогенное содержания БС в вегетативных и генеративных органах луковичных растений показало, что количество гормонов в луковицах в 62 и 10 раз превышает их содержание в цветах, в побегах в 24 и 3 раза их содержания в цветках тюльпанов и гиацинтов соответственно. Наилучшие результаты по накоплению brassinosteroidов у тюльпанов были получены при обработке луковиц ЭБ 10⁻⁹ ($24,69 \pm 1,76$) и ГБ 10⁻⁹ ($29,31 \pm 0,57$), что в 2 раза превышает контрольные измерения, а у гиацинтов при доработке луковиц ГБ10⁻⁷ ($42,39 \pm 1,14$) и ГБ 10⁻⁹ ($53,75 \pm 0,63$), что в 4 и 5 раз превышает контрольные измерения соответственно.

Библиографические ссылки

1. Dauben WG, Brookhart TJ. Stereocontrolled Synthesis of Steroidal Side Chains. *Journal of the American Chemical Society*. 1981;103(5):237–238.
2. Guo C, Fuchs PL. The first synthesis of the aglycone of the potent anti-tumor steroidal saponin OSW-1. *Tetrahedron Lett*. 1998;39(10):1099–1102.
3. Mikami K, Kishin H, Loh T. Unified approach to (22S)- or (22R)-hydroxy steroid side chain: Lewis acid-promoted carbonyl-ene reaction with α -alkoxyaldehydes. *Journal of the Chemical Society, Chemical Communications*. 1994(4):495–496.
4. Думнова АА, Вахромеева АА. Влияния различных субстратов на зимнюю выгонку растений рода *Lilium* при использовании фитостимуляторов. В: Грачева ЕП, редактор. *Труды Международной научной конференции. Проблемы экологического образования в XXI веке*. Москва: [и. н.]; 2017. с. 7–10.
5. Пугачева ГМ, Соколова МА, Ячменева СЮ, Юдина ОВ. Эффективность регуляторов роста при выращивании цветочных культур. *Достижения науки и техники АПК*. 2010;8:36–37. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-regulyatorov-rosta-pri-vyraschivanii-tsvetochnyh-kultur>.
6. Хугаева АА. Обоснование возможности применения ростостимуляторов для выращивания рассады цветочных культур. В: *Материалы XV Международной научно-практической конференции молодых ученых. Инновационные тенденции развития российской науки*. Красноярск: [и. н.]; 2022. с. 123–125.
7. Левая МА, Влияние биологически активных веществ на устойчивость тюльпанов классов Кауфмана и Грейга к вирусу пестролепестности. *Вестн БДПУ. Серия, 3. Фізика. Математика. Інфарматика. Біялогія. Географія*. 2008;1:38–42.
8. Плешаков ДН, Смолин НВ, Потапова НВ, Волгин ВВ, Потапов ИВ. К вопросу оценки декоративных качеств срезочных сортов чайно-гибридной розы при выращивании на гидропонике. *Аграрный научный журнал*. 2023;5:33–40. <http://10.28983/asj.y2023i5>.
9. Старостенкова ЕМ. Технология производства посадочного материала гиацинта восточного (*Hyacinthus orientalis hybridum hort.*) с использованием регуляторов роста и развития растений. В: *Материалы межвузовской научно-технической конференции студентов и курсантов на базе Калининградского государственного технического университета*, Калининград, 2–15 апреля 2018 г. Калининград: КГТУ; 2018. с. 181–184.
10. Рыженкова ЮИ. История и результаты интродукции представителей рода *Tulipa* L. в Беларуси. В: *Современные направления деятельности ботанических садов и держателей ботанических коллекций по сохранению биологического разнообразия растительного мира. Материалы Международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика Н. В. Смольского*, Минск, 27–29 сентября 2005 г. Минск: Эдит ВВ; 2005. с. 142–145.

References

1. Dauben WG, Brookhart TJ. Stereocontrolled Synthesis of Steroidal Side Chains. *Journal of the American Chemical Society*. 1981;103(5):237–238.
2. Guo C, Fuchs PL. The first synthesis of the aglycone of the potent anti-tumor steroidal saponin OSW-1. *Tetrahedron Lett*. 1998;39(10):1099–1102.
3. Mikami K, Kishin H, Loh T. Unified approach to (22S)- or (22R)-hydroxy steroid side chain: Lewis acid-promoted carbonyl-ene reaction with α -alkoxyaldehydes. *Journal of the Chemical Society, Chemical Communications*. 1994(4):495–496.
4. Dumnova AA, Vakhromeeva AA. *Vliyaniya razlichnykh substratov na zimnyuyu vygonku rastenii roda Lilium pri ispol'zovanii fitostimulyatorov* [Influence of various substrates on winter forcing of plants of the genus *Lilium* with the use of phyto-stimulators]. In:

Gracheva EP, editor. Proceedings of the International Scientific Conference «Problems of Ecological Education in the 21st Century». Moscow: [publisher unknown]; 2017. p. 7–10. Russian.

5. Pugacheva GM, Sokolova MA, Yachmeneva SYu & Yudina OV. *Effektivnost regulyatorov rosta pri vyrashchivanii tsvetochnykh kultur* [Effectiveness of growth regulators in the cultivation of flower crops]. *Achievements of Science and Technology of the Agro-Industrial Complex*. 2010;8:36–37. <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-regulyatorov-rosta-pri-vyrashchivanii-tsvetochnyh-kultur>. Russian.

6. Khugaeva AA. *Obosnovanie vozmozhnosti primeneniya rostostimulyatorov dlya vyrashchivaniya rassady tsvetochnykh kultur* [Justification of the possibility of using growth stimulants for growing flower seedlings]. In: Proceedings of the XV International Scientific and Practical Conference of Young Scientists. Innovative Trends in the Development of Russian Science». Krasnoyarsk: [publisher unknown]; 2022. p. 123–125. Russian.

7. Levaya MA. *Vliyaniye biologicheskii aktivnykh veshchestv na ustoychivost' tyul'panov klassov Kaufmana i Greiga k virusu pestroleptnosti* [Influence of biologically active substances on the resistance of Kaufmann and Greig tulips to the tulip mosaic virus]. *Vesci BDPU. Series 3: Physics. Mathematics. Informatics. Biology. Geography*. 2008;1:38–42. Russian.

8. Pleshakov DN, Smolin NV, Potapova NV, Volgin VV & Potapov IV. *K voprosu otsenki dekorativnykh kachestv srezochnykh sortov chaino-gibridnoy rozy pri vyrashchivanii na gidroponike* [On the issue of assessing the decorative qualities of cut hybrid tea rose cultivars grown in hydroponics]. *Agrarian Scientific Journal*. 2023;5:33–40. <http://10.28983/asj.y2023i5>. Russian.

9. Starostenkova EM. *Tekhnologiya proizvodstva posadochnogo materiala giatsinta vostochnogo (Hyacinthus orientalis hybridum hort.) s ispol'zovaniem regulyatorov rosta i razvitiya rastenii* [Technology of production of planting material of oriental hyacinth (Hyacinthus orientalis hybridum hort.) using plant growth and development regulators]. In: Proceedings of the Interuniversity Scientific and Technical Conference of Students and Cadets, Kaliningrad State Technical University, 2018 April 2–15. Kaliningrad: KSTU; 2018. p. 181–184. Russian.

10. Ryzhenkova YuI. *Istoriya i rezul'taty introduksii predstavitelei roda Tulipa L. v Belarusi* [History and results of introduction of Tulipa L. representatives in Belarus]. In: Modern directions of activity of botanical gardens and holders of botanical collections in the conservation of biodiversity of the plant world. Proceedings of the International Scientific Conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of Academician N. V. Smolsky, Minsk, 2005 September 27–29. Minsk: Edit VV; 2005. p. 142–145. Russian.

Статья поступила в редколлегию 25.08.2025.

Received by editorial board 25.08.2025.

СОДЕРЖАНИЕ

ИЗУЧЕНИЕ И РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

<i>Жаббаров З. А., Абдрахманов Т., Джалилова Г. Т., Махаммадиев С. К., Абдуллаев Ш. З., Имомов О. Н., Закирова С. К., Махкамова Д. Ю., Абдукаримов Ж. Ж.</i> Влияние Каттакурганского водохранилища на почвенный покров и процесс гидроморфизма	4
<i>Макаренко Т. В., Пырх О. В., Хаданович А. В., Макаренко А. И.</i> Динамика накопления соединений свинца и меди в системе «донные отложения – двустворчатые моллюски»	21
<i>Кононович Я. П., Шулинский Р. С., Бондаренко В. Ю., Жоров Д. Г., Воронова-Барте Н. В.</i> Молекулярная характеристика пяти геномов <i>Vichnera arhidicola</i> – облигатного симбионта тлей фауны Беларуси	34
<i>Каленчук Т. В., Чернецкая А. Г.</i> Содержание экзогенных и эндогенных брассиностероидов в луковичных культурах родов <i>Tulipa</i> и <i>Hyacinthus</i>	42

РАДИОЛОГИЯ И РАДИОБИОЛОГИЯ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

<i>Гарбарук Д. К., Воронцовская А. Н., Шумак С. В., Турчин Л. М., Углянец А. В.</i> Краткосрочные изменения загрязнения ¹³⁷ Cs и ⁹⁰ Sr элементов биогеоценозов высоковозрастных дубрав в зоне эвакуации (отчуждения) Чернобыльской АЭС	51
<i>Цыбулько Н. Н., Герменчук М. Г., Журавков В. В., Дюбайло О. В.</i> Радиоактивное загрязнение территории Беларуси: динамика, современное состояние и долгосрочный прогноз.....	67

МЕДИЦИНСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

<i>Гаит М. С. И., Сыса А. Г., Живицкая Е. П.</i> Концентрационно-зависимое повышение уровня мРНК <i>CYP1A1</i> и <i>CYP1B1</i> под действием фенобарбитала в лимфоцитах периферической крови человека.....	76
--	----

ПРОМЫШЛЕННАЯ И АГРАРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

<i>Мамедов Х. Ф., Хасаева С. Г.</i> Химические механизмы образования нитритов и химические аспекты загрязнения	82
<i>Полоз И. И., Родькин О. И.</i> Оценка основных источников выбросов парниковых газов в секторе «Отходы» в Республике Беларусь	89

CONTENTS

THE STUDY AND REHABILITATION OF ECOSYSTEMS

- Jabbarov Z. A., Abdrakhmanov T., Jalilova G. T., Mahammadiev S. K., Abdullaev Sh. Z., Imomov O. N., Zakirova S. K., Makhkamova D. Ju., Abdukarimov J. Zh.* Influence of the Kattakurgan reservoir on soil cover and hydromorphism process.....4
- Makarenko T. V., Pyrkh O. V., Khadanovich A. V., Makarenko A. I.* Dynamics of accumulation of lead and copper compounds in the system «bottom sediments – bivalve mollusks»21
- Kananovich Ya. P., Shulinski R. S., Bandarenka U. Yu., Zhorov D. G., Voronova-Barte N. V.* Molecular characteristics of five genomes of *Buchnera aphidicola* – an obligate symbiont of aphids in the fauna of Belarus34
- Kalenchuk T. V., Chernetskaya A. G.* Content of exogenous and endogenous brassinosteroids in bulbous crops of the genera *Tulipa* and *Hyacinthus*.....42

RADIOLOGY AND RADIOBIOLOGY, RADIATION SAFETY

- Garbaruk D. K., Voronetskaya A. N., Shumak S. V., Turchin L. M., Uglyanets A. V.* Short-term contamination changes of ^{137}Cs and ^{90}Sr in ecosystems elements of high-age oak forests in the Chernobyl nuclear power plant exclusion zone51
- Tsybulka M. M., Germenchuk M. G., Zhuravkov V. V., Dubaylo O. V.* Radioactive contamination of the territory of Belarus: dynamics, current state and long-term forecas67

MEDICAL ECOLOGY

- Ghaith M. S. I., Sysa A. G., Zhyvtskaya E. P.* Concentration-dependent upregulation of *CYP1A1* and *CYP1B1* mRNA by phenobarbital in human peripheral blood lymphocytes.....76

INDUSTRIAL AND AGRICULTURAL ECOLOGY

- Mammadov Kh. F., Khassayeva S. G.* Chemical mechanisms of nitrite formation and chemical aspects of pollution88
- Poloz I. I., Rodzkin A. I.* Assessment of the main sources of greenhouse gas emissions in the Waste sector in the Republic of Belarus89

Журнал включен Высшей аттестационной комиссией Республики Беларусь в Перечень научных изданий для опубликования результатов диссертационных исследований по биологическим, сельскохозяйственным и техническим (экология) наукам.

Журнал включен в библиографическую базу данных научных публикаций «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ).

**Журнал Белорусского
государственного университета. Экология.
№ 3. 2025**

Учредитель:
Белорусский государственный университет

Юридический адрес: пр. Независимости, 4,
220030, Минск.

Почтовый адрес: ул. Долгобродская, 23/1,
220070, Минск.

Тел. 398-89-34, 398-93-44.

www.iseu.bsu.by

E-mail: jecology@bsu.by

«Журнал Белорусского государственного
университета. Экология» издается с сентября 2017 г.
До августа 2017 г. выходил под названием
«Экологический вестник»
(ISSN 1994-2087).

Редактор *Л. М. Корневская*
Технический редактор *М. Ю. Мошкова*
Корректор *Л. М. Корневская*

Подписано в печать 25.06.2025.
Тираж 100 экз. Заказ 574.

Республиканское унитарное предприятие
«Информационно-вычислительный центр
Министерства финансов Республики Беларусь»
ЛП № 02330/89 от 3 марта 2014.
Ул. Кальварийская, 17, 220004, Минск.

© БГУ, 2025

**Journal
of the Belarusian State University. Ecology.
No. 3. 2025**

Founder:
Belarusian State University

Registered address: 4 Niezaliežnasci Ave.,
220030, Minsk.

Correspondence address: 23/1 Daŭhabrodskaja Str.,
220070, Minsk.

Tel. 398-89-34, 398-93-44.

www.iseu.bsu.by

E-mail: jecology@bsu.by

«Journal of the Belarusian State University. Ecology»
published since September, 2017.
Until August, 2017 named «Ekologičeskii vestnik»
(ISSN 1994-2087).

Editor *L. M. Korenevskaya*
Technical editor *M. Yu. Moshkova*
Proofreader *L. M. Korenevskaya*

Signed print 25.06.2025.
Edition 100 copies. Order number 574.

RUE «Information Computing Center of the Ministry
of Finance of the Republic of Belarus».
License for publishing No. 02330/89, 3 March, 2014.
17 Kalvaryjskaya Str., 220004, Minsk.

© BSU, 2025