

Экспериментальная биология растений: физиолого-биохимические исследования на Европейском Северо-Востоке (обзор)

Т.К. Головки

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар
golovko@ib.komisc.ru

Аннотация

Рассмотрены этапы становления и основные итоги развития фитофизиологии в Республике Коми. Отмечен вклад Института биологии в изучение фундаментальных процессов жизнедеятельности растений. Проанализированы достижения в изучении физиолого-биохимических основ продукционного процесса сельскохозяйственных культур, функциональной пластичности и стрессоустойчивости растений природной флоры. Получены результаты, существенно углубляющие представления о роли дыхания и дыхательных путей в метаболизме и биоэнергетике растительной клетки. Доказано участие альтернативной оксидазы митохондрий в комплексной защитной системе клетки, сигналинге, поддержании окислительно-восстановительного баланса при стрессах. Намечены актуальные направления исследований и первоочередные задачи на долговременный период.

Ключевые слова:

экспериментальная биология растений, фитофизиология, фотосинтез, дыхание, продуктивность, итоги исследований, холодный климат

*К 60-летию Института биологии
и лаборатории экологической физиологии растений*

Современная биология рассматривает организацию живых систем на разных уровнях: от молекул до экосистем. Актуальным направлением экспериментальной биологии растений было и остается изучение фундаментальных процессов жизнедеятельности на молекулярном, клеточном, организменном и ценоотическом уровнях. В круг приоритетных задач фитофизиологов входит изучение механизмов фотосинтеза как основы автотрофного питания и ключевого фактора всего энерго-пластического обмена растительной клетки, взаимодействия фотосинтеза с дыханием и ростом, роли в устойчивости и продуктивности растений. В условиях обострения экологических проблем и ожидаемых глобальных климатических изменений возрастает значение работ, направленных на выявление молекулярных и функциональных механизмов пластичности представителей различных видов и экологических групп растений, и их значения в поддержании стабильности экосистем.

Experimental plant biology: physiological and biochemical studies in the European Northeast (review)

T.K. Golovko

Institute of Biology, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar
golovko@ib.komisc.ru

Abstract

The stages of formation and the main results of the phytophysiology development in the Komi Republic were considered. The contribution of the Institute of Biology to the study of the fundamental processes of plant life was noted. Achievements in the study of the physiological and biochemical bases of the production process of agricultural crops, functional plasticity, and stress resistance of wild-growing plants were analyzed. Results that significantly deepen the understanding of the respiration and respiratory pathways involvement in the plant cells metabolism and bioenergetics have been obtained. The participation of alternative mitochondrial oxidase in the complex protective system of the cell, signaling, and the redox balance maintenance under stress has been proven. Current research and priority directions for the long-term period were outlined.

Keywords:

experimental plant biology, phytophysiology, photosynthesis, respiration, productivity, results of research, cold climate

Цель данной работы – проанализировать основные достижения и наметить перспективные направления развития фитофизиологии на европейском северо-востоке России.

Начало физиолого-биохимических исследований в Республике Коми было положено в годы Великой Отечественной войны, когда в составе эвакуированной Северной базы Академии наук в Сыктывкар прибыл А.Л. Курсанов, в будущем академик РАН, директор Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева [1]. На скудной лабораторной базе им были развернуты исследования растений, богатых витаминами и другими полезными веществами, что послужило основой практических рекомендаций получения витаминных экстрактов из лесных растений, патоки из свеклы и картофеля, сохранения урожая картофеля и овощей.

Организация систематических исследований физиолого-биохимических основ продуктивности культурных растений на Севере связана с именем П.П. Вавилова – вы-

пускника Тимирязевской сельскохозяйственной академии, будущего академика и Президента ВАСХНИЛ [1–3]. По его инициативе в составе организованного в 1962 г. Института биологии появилась самостоятельная лаборатория физиологии растений.

С самого начала исследования носили комплексный характер, так как формирование продуктивности представляет собой сложную и интегрированную функцию растений. Ее основу составляют генетически детерминированные процессы роста, энергетическое и субстратное обеспечение которых осуществляется фотосинтезом, дыханием и минеральным питанием. Для управления формированием урожая необходимо глубокое понимание механизмов функционирования и регуляции систем, определяющих продуктивность, распределение ассимилятов и их трансформацию в биомассу. Большое влияние на выбор методологии исследований оказали идеи члена-корреспондента РАН А.А. Ничипоровича [4, 5] и академика А.Т. Мокроносова [6].

В 60–80-е гг. прошлого столетия сотрудниками лаборатории (фото 1) были выявлены количественные взаимосвязи между поступлением солнечной радиации, усвоением ее листовой поверхностью северных агроценозов. Получены оригинальные данные о динамике чистой продуктивности фотосинтеза, величинах коэффициента хозяйственной продуктивности, содержании и выносе минеральных элементов зерновыми злаками, кормовыми травами, картофелем и овощными культурами [7–9]. Начаты экспериментальные определения фотосинтетического газообмена, его зависимости от внутренних (онтогенетических) и внешних (абиотических) факторов. Показано, что в оптимальных условиях скорость видимого поглощения CO_2 листьями исследованных растений достигала 20–25 мг/дм²ч, но большую

часть вегетации была вдвое ниже [10, 11]. Среди однолетних культур сравнительно интенсивно фотосинтезировал картофель, среди многолетних кормовых трав – клевер красный. Температурный оптимум нетто-фотосинтеза картофеля, топинамбура, ячменя, овса отмечали в диапазоне +18 ... +22 °С, у кормовых трав – на 3–5 °С ниже. При температуре +10 ... +12 °С скорость фотосинтеза листьев большинства культур составляла 60–80 % максимальной величины. Сравнительно низкой фотосинтетической активности соответствует умеренное содержание хлорофиллов, в среднем 2–3 мг/г сырой массы листьев [12].

Установлены особенности метаболизма северных растений. Их отличительной чертой является повышенное накопление низкомолекулярных форм углеводов, неорганического азота и фосфора [7, 13]. Растения характеризуются сравнительно высокой оводненностью и низкой продуктивностью транспирации [14]. Показано, что умеренные температуры, высокая влагообеспеченность, продолжительный световой день способствуют вегетативному росту растений. Использование значительной части ассимилятов на образование и поддержание вегетативной массы благоприятно сказывается на продуктивности кормовых трав, но тормозит накопление урожая зерновых культур и картофеля.

В результате обобщения результатов многолетних исследований разработана концепция о физиологических реакциях растений в холодном климате, обоснованы действительно возможные урожаи основных полевых культур и пути улучшения агротехнологии их возделывания, а также направления селекционно-генетического улучшения форм растений, адаптированных для возделывания на Севере [13]. Предложены научно-методические рекомендации по ускорению созревания картофеля, томатов, зерновых культур, использованию бактериальных удобрений на бобовых растениях и ячмене.

При изучении продукционного процесса овощных культур защищенного грунта были выявлены закономерности формирования урожая, оценена эффективность использования лучистой энергии ценозами листового салата, огурца и томата в зимнее время [15]. Для оптимизации затрат электроэнергии были разработаны и испытаны на практике режимы досвечивания, что позволило интенсифицировать производство качественной овощной продукции.

Проведенные в содружестве с кафедрой ботаники Коми государственного пединститута исследования морфобиологии подземного метамерного комплекса столонообразующих и корневищных растений позволили с новых позиций трактовать вопросы структурно-функциональной организации и регуляции роста подземных побегов, их роль в эволюции и расселении травянистых многолетников [16–18].



Фото 1. Сотрудники лаборатории физиологии растений Института биологии, 1970 г. Первый ряд слева направо: лаб. С.С. Муравьева, ст. лаб. З.С. Хлызова, инж.-химик А.Г. Корбут, ст. лаб. Г.Н. Табаленкова, н.с. С.В. Куренкова, н.с. Р.А. Рошевская; второй ряд: лаб. И.А. Вязова, н.с. Н.В. Чебыкина, ст. лаб. З.Г. Фрикель, зав. лаб., к.б.н. В.М. Швецова, с.н.с., к.б.н. Л.К. Грунина, н.с. Е.С. Болотова, н.с., к.б.н. А.М. Швецова. Фото сделано А.С. Коптевой.
Photo 1. Employees of the Laboratory of Plant Physiology, 1970. In the first line from left to right: Laboratory Assistant S.S. Muravyov, Senior Laboratory Assistant Z.S. Khlyzova, Chemical Engineer A.G. Korbut, Senior Laboratory Assistant G.N. Tabalenkova, Researcher S.V. Kurenkova, Researcher R.A. Roshevskaya; in the second line: Laboratory Assistant I.A. Vyazova, Researcher N.V. Chebykin, Senior Laboratory Assistant Z. Frikel, Head of the laboratory, Candidate of Sciences (Biology) V.M. Shvetsova, senior researcher, Candidate of Sciences (Biology) L.K. Grunina, researcher E.S. Bolotova, researcher, Candidate of Sciences (Biology) A.M. Shvetsov.

Детальное изучение функциональных свойств растения-инвайдера *Heracleum sosnowskyi* (борщевик Сосновского) показало, что адаптационная стратегия данного вида основана на эффективном использовании ресурсов среды [19, 20]. В условиях вторичного ареала растения быстро растут и формируют многоярусные ценозы, эффективно использующие солнечную энергию. Архитектоника ценозов обеспечивает оптимальные микроклиматические условия для продуктивной ассимиляции CO₂. Температурный диапазон метаболической активности хорошо соответствует климату. Установлено, что биологический минимум суммы активных температур ≥ 5 °С равен 1400 °С, а минимально необходимая для роста и развитая *H. sosnowskyi* средняя продолжительность безморозного периода – около 80 дней. Наличие устойчивого снежного покрова предотвращает вымерзание почек возобновления и всходов растений. Полученные данные послужили научным обоснованием экологически безопасного метода ликвидации нежелательных зарослей *H. sosnowskyi* путем удаления снежного покрова. На основе изучения морфофункциональных свойств и фотосинтетической деятельности разработана модель распространения растений на Севере.

Наряду с изучением физиологии культурных растений, проводились фундаментальные эколого-физиологические исследования растений природной флоры. Впервые получены данные о фотосинтетической и дыхательной активности, направленности фотосинтетического метаболизма углерода и соотношении путей карбоксилирования при фотосинтезе у растений арктической тундры [21–23]. Установлены закономерности использования ассимилированного углерода на процессы роста и дыхания, оценены дыхательные затраты углерода на поддержание структуры клеток листьев [24, 25]. Выявлена зависимость фотосинтетической и дыхательной активности растений бореальной зоны от видового разнообразия, жизненной формы, принадлежности к широтной географической группе и условий внешней среды [26–28]. Получены данные, свидетельствующие о роли экологических факторов в адаптивной дифференциации и проявлении генетического полиморфизма растений [29]. Выявлены маркеры для идентификации функциональных типов травянистых растений на европейском северо-востоке России [30]. Установлено, что конкуренты (С-стратеги) характеризуются быстрым ростом, наличием интенсивно ассимилирующих и дышащих листьев с высоким содержанием азота. Листья стресс-толерантов (S-стратеги) имеют низкую скорость фотосинтеза и дыхания. Рудералы (R-стратеги) отличаются эффективным использованием азота на фотосинтез и рост. Показана сильная корреляционная связь роста, скорости фотосинтеза и дыхания растений с влажностью, кислотностью и богатством почвы азотом.

Получены и проанализированы данные о фонде фотосинтетических пигментов листьев около 200 видов растений флоры таежной зоны [31, 32]. Установлено, что содержание хлорофиллов в листьях большинства растений сравнительно низкое и составляет 2–6 мг/г сухой массы. Травянистые растения накапливают в 1.5 раза больше

хлорофилла, чем древесные. Возрастание относительно содержания каротиноидов в ряду бореальные – гипоарктические – арктоальпийские виды свидетельствует о повышении их защитной функции. Выявлены закономерности изменения пула каротиноидов и функционирования виолаксантинового цикла у растений разной жизненной стратегии под влиянием внешних факторов [33].

Пигментный комплекс внес существенный вклад в понимание механизмов функциональной пластичности и устойчивости растений. Установлены закономерности изменения пигментного комплекса вечнозеленых растений в связи с адаптацией фотосинтетического аппарата (далее – ФСА) к сезонным изменениям климата [34–36]. Показано, что у хвойных древесных основным механизмом фотозащиты ФСА в зимне-ранневесенний период является зеаксантин-зависимая тепловая диссипация энергии в светособирающем комплексе фотосистемы II. Выявлены адаптивные реакции ФСА растений при освоении местообитаний с разным режимом освещенности. Получены результаты, свидетельствующие о значимости скоординированного изменения активности хлоропластных и митохондриальных энергодиссипирующих механизмов и антиоксидантной системы для поддержания редокс-баланса фототрофных тканей при адаптации растений к местообитаниям с высоким уровнем инсоляции [37]. Установлены закономерности перехода с С3 на САМ тип фотосинтеза. Показано, что САМ не вносит существенного вклада в углеродный баланс и продуктивность факультативного САМ вида *Hyloetelephium triphyllum*, но способствует сохранению фотосинтетического аппарата и реализации репродуктивного потенциала растений [38]. Листья САМ растений отличались от типичных С3 видов повышенным уровнем активности антиоксидантных ферментов и накоплением H₂O₂, участвующим в клеточном сигналинге [39].

В последние годы начаты систематические исследования физиологии лишайников таежной зоны [40]. Следует отметить, что до сих пор знания о физиологических механизмах устойчивости этих древних и уникальных симбиотических организмов остаются неполными. Нами исследована функциональная экология охраняемого лишайника *Lobaria pulmonaria* [41]. Выявлены сезонные изменения липидного и пигментного комплексов, температуры замерзания воды в талломах, зависимость CO₂-газообмена от оводненности и освещенности талломов. Показано, что успешная адаптация к условиям обитания и сезонным изменениям среды в значительной степени обусловлена функциональными свойствами лишайника. Получены данные о реакции лишайников на загрязнение среды при добыче бокситовой руды в таежной зоне [42].

В целом, результаты исследований объектов природной флоры дополняют характеристику биологического разнообразия таежной зоны, могут быть использованы как базовые при прогнозировании продуктивности, оценке стока углерода, верификации спектральных характеристик, полученных методами дистанционного зондирования.

Достижения последних десятилетий существенно расширили представления о вовлеченности дыхания в метабо-

лизм и биоэнергетику растительной клетки, роли дыхания в росте, продуктивности и устойчивости растений. Показано, что за сутки в дыхании растения могут окислять от 30 до 70 % продуктов фотосинтеза [43]. У молодых интенсивно растущих растений (органов) подавляющая часть дыхания (60–70 %) связана с ростом. Экспериментально подтверждено, что из единицы субстрата (глюкозы) синтезируется в среднем 0.75–0.85 единиц вегетативной биомассы. Трансформация субстрата в биомассу сопровождается выделением CO_2 (дыхание на рост). Дыхательная цена синтеза биомассы зависит от ее состава, так как затраты на синтез белков и липидов примерно вдвое выше, чем на синтез углеводов или органических кислот. Поэтому эффективность роста клубней картофеля на 30 % больше, чем листьев, содержащих на порядок меньше углеводов, но в четыре раза больше белков. Скорость дыхания растений и их органов коррелирует с относительной скоростью роста и снижается по мере затухания ростовых процессов. В зрелых растениях превалирует дыхание, связанное с поддержанием структурной целостности и функциональной активности клеток и тканей. Дыхательные затраты на поддержание варьируют от 0.02 до 0.04 г глюкозы/г сухой биомассы в сутки. Примерно 60 % обусловлено затратами на обновление деградирующих компонентов биомассы (белков-ферментов, липидов, нуклеиновых кислот и др.), остальная часть связана с поддержанием ионных градиентов на мембранах, транспортом через мембраны метаболитов и ионов.

Исследования энергетически малоэффективного альтернативного пути дыхания (далее – АП) в митохондриях позволило существенно дополнить и развить представления о механизмах регуляции и роли АП при адаптации растений к условиям среды [44–47]. Доказана ключевая роль альтернативной оксидазы (далее – АОХ) в сбалансированной защитной системе клетки, сигналинге, поддержании окислительно-восстановительного баланса и регуляции биоэнергетики в норме и при стрессах [45, 47]. Предложена концепция АП как обязательного компонента при количественной оценке энергетической эффективности дыхания. Обосновано использование АОХ в качестве маркера стресс-толерантности, изменения метаболизма и энергетического состояния клеток при действии неблагоприятных факторов.

Согласно Программе фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 гг.) [48], актуальным в экспериментальной биологии растений является детальное изучение механизмов фотосинтетических процессов с перспективой создания в будущем эффективных искусственных фотосин-

тетических систем, что позволит получить неисчерпаемый источник пищевых ресурсов непосредственно из атмосферы. Важнейшими задачами этого направления являются создание методологии управляемого онтогенеза и продуктивности растений; исследование стратегии и механизмов их адаптации к стрессовым факторам среды; конструирование биологически безопасных линий растений с заданными свойствами при помощи генетического редактирования. В связи с этим, на наш взгляд, первоочередными задачами являются:

1. изучение регуляции фотосинтеза и дыхания растений на разных уровнях организации, их роли в интеграции клеточных процессов и целостности растительного организма;
2. исследование проблем биоэнергетики дыхания и сигналинга митохондриальной альтернативной оксидазы как функционального маркера перепрограммирования клеточного метаболизма при стрессе;
3. изучение регуляции редокс-баланса и метаболической пластичности клеток в меняющихся условиях среды;
4. оценка фотосинтетической и дыхательной активности растений и фитоценозов в связи с поиском путей решения проблем карбонизации и глобальной экологии.

Решение этих задач вполне по плечу высокопрофессиональному кадровому составу фитопфизиологов Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (фото 2).

Заключая, следует отметить, что исследования молекулярных механизмов регуляции физиологических процессов, стресс-устойчивости фотосинтеза и дыхания растений крайне важны для понимания приспособления растений



Фото 2. Сотрудники лаборатории экологической физиологии растений Института биологии, 2022 г. Первый ряд слева направо: в.н.с., д.б.н. Е.В. Гармаш, вед. инж.-химик М.В. Кырнышева, в.н.с., д.б.н. О.В. Дымова; второй ряд: в.н.с., д.б.н. С.П. Маслова, в.н.с., д.б.н. Г.Н. Табаленкова, гл.н.с., д.б.н. Т.К. Головкин, н.с., к.б.н., Е.В. Силина; третий ряд: зав. лаб., к.б.н. И.В. Далькэ, н.с., к.б.н. М.А. Шелякин, н.с., к.б.н. Р.В. Малышев, инж.-химик В.С. Паршуков. Фото сделано Н. Горбач.

Photo 2. Employees of the Laboratory of Plant Ecological Physiology, 2022. In the first line from left to right: Leading Researcher, Doctor of Sciences (Biology) E.V. Garmash, Leading Chemical Engineer M.V. Kyrnysheva, Leading Researcher, Doctor of Sciences (Biology) O.V. Dymova; in the second line: Leading Researcher, Doctor of Sciences (Biology) S.P. Maslova, Leading researcher, Doctor of Sciences (Biology) G.N. Tabalenkova, chief researcher, Doctor of Sciences (Biology) T.K. Golovko, researcher, Candidate of Sciences (Biology) E.V. Silina; in the third line: head of the laboratory, Candidate of Sciences (Biology) I.V. Dalke, researcher, Candidate of Sciences (Biology) M.A. Shelyakin, researcher, Candidate of Sciences (Biology) R.V. Malyshev, Chemical Engineer V.S. Parshukov.

к условиям существования, прогнозирования динамики растительности в условиях повышения нестабильности климата и обострения экологических проблем, разработки принципиально новых методов и способов управления ростом и продуктивностью, создания природоподобных технологий. Существенным стимулом в развитии физиологии на Севере является запрос на устойчивое развитие и эффективное, неистощительное использование возобновляемых ресурсов.

Литература

1. Головкин, Т. К. Физиологические исследования на Севере / Т. К. Головкин, С. В. Куренкова, Г. Н. Табаленкова. – Сыктывкар : Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 2002. – 84 с.
2. К 100-летию со дня рождения П. П. Вавилова (1918–1984) / К. С. Зайнуллина, А. В. Самарин, Г. Н. Табаленкова [и др.] // Известия Коми НЦ УрО РАН. – 2018. – № 2 (34). – С. 100–106.
3. Вавилов, П. П. Проблемы растениеводства в Коми АССР / П. П. Вавилов. – Сыктывкар, 1964. – 80 с.
4. Ничипорович, А. А. Задачи по изучению фотосинтетической деятельности растений с целью повышения их продуктивности / А. А. Ничипорович // Фотосинтезирующие системы высокой продуктивности. – Москва : Наука, 1966. – С. 7–50.
5. Ничипорович, А. А. Фотосинтетическая деятельность растений как основа их продуктивности в биосфере и земледелии / А. А. Ничипорович // Фотосинтез и продукционный процесс. – Москва : Наука, 1988. – С. 5–28.
6. Мокроносов, А. А. Фотосинтетическая функция и целостность растительного организма / А. А. Мокроносов. – Москва : Наука, 1983. – 64 с.
7. Физиология картофеля в центральной зоне Коми АССР / Е. С. Болотова, А. Г. Корбут, С. В. Куренкова [и др.]. – Сыктывкар, 1972. – 90 с.
8. Физиология и биохимия культурных растений на Севере / Н. В. Чебыкина, В. М. Швецова, Е. С. Болотова и [др.]. – Ленинград : Наука, 1976. – 120 с.
9. Физиология и биохимия многолетних трав на Севере / Е. С. Болотова, С. В. Куренкова, В. М. Швецова [и др.]. – Ленинград : Наука, 1982. – 142 с.
10. Ячмень на Севере (селекционно-генетические и физиолого-биохимические основы продуктивности) / Т. К. Головкин, Н. А. Родина, С. В. Куренкова [и др.]. – Екатеринбург : УрО РАН, 2004. – 155 с.
11. Швецова, В. М. Фотосинтез и продуктивность культурных растений на Севере / В. М. Швецова. – Ленинград : Наука, 1987. – 94 с.
12. Куренкова, С. В. Пигментная система культурных растений в условиях подзоны средней тайги европейского Северо-Востока / С. В. Куренкова. – Екатеринбург : УрО РАН, 1998. – 115 с.
13. Табаленкова, Г. Н. Продукционный процесс культурных растений в условиях холодного климата / Г. Н. Табаленкова, Т. К. Головкин. – Санкт-Петербург : Наука, 2010. – 231 с.
14. Швецова, А. М. Расход воды полевыми культурами в центральной зоне Коми АССР / А. М. Швецова // Доклады ВАСХНИЛ. – 1975. – № 10. – С. 10–12.
15. Овощеводство защищенного грунта на Севере: теоретические и практические аспекты / Т. К. Головкин, И. В. Далькэ, Е. Е. Григорай [и др.]. – Сыктывкар : ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2017. – 156 с.
16. Маркаров, А. М. Морфофизиология клубнеобразующих растений / А. М. Маркаров, Т. К. Головкин, Г. Н. Табаленкова. – Санкт-Петербург : Наука, 2001. – 208 с.
17. Морфофизиология и экология подземного метамерного комплекса длиннокорневищных растений / С. П. Маслова, Г. Н. Табаленкова, С. Н. Плюснина [и др.]. – Москва : Наука, 2015. – 158 с.
18. Maslova, S. P. Tropisms of Underground Shoots – Stolons and Rhizomes / S. P. Maslova, T. K. Golovko // Biology Bulletin Reviews. – 2018. – Vol. 8, N 3. – P. 181–192.
19. Dalke, I. V. Control of Sosnowskyi's hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) invasion on the territory of the Russian Federation / I. V. Dalke, I. F. Chadin, I. G. Zakhochiy // Russian Journal of Biological Invasions. – 2018. – Vol. 9, N 4. – P. 331–344.
20. Laboratory and field assessment of the frost resistance of Sosnowsky's hogweed / I. V. Dalke, I. F. Chadin, R. V. Malyshev [et al.] // Russian Journal of Biological Invasions. – 2020. – Vol. 11, N 1. – P. 9–20.
21. Швецова, В. М. Интенсивность фотосинтеза некоторых растений Западного Таймыра : автореф. дис. ... канд. биол. наук / В. М. Швецова. – Ленинград, 1971. – 25 с.
22. Назаров, С. К. Фотосинтез растений острова Вайгач (физиолого-биохимический аспект) : автореф. дис. ... канд. биол. наук / С. К. Назаров. – Казань, 1977. – 27 с.
23. Назаров, С. К. Фотосинтез и баланс углерода у гидрофильных арктических растений / С. К. Назаров, М. Д. Сивков, Е. В. Некучаева. – Сыктывкар, 1991. – 23 с. – (Научные доклады Коми научного центра УрО РАН; вып. 26).
24. Иванова, Т. И. Использование меченых ассимилятов для роста и дыхания растений острова Врангеля / Т. И. Иванова, Т. К. Головкин // Ботанический журнал. – 1983. – Т. 68, № 4. – С. 448–503.
25. Семихатова, О. А. Дыхание на поддержание структуры клеток у арктических растений / О. А. Семихатова, Т. И. Иванова, Т. К. Головкин // Физиология растений. – 1979. – Т. 26, № 5. – С. 1083–1102.
26. Толстянковые в холодном климате (биология, экология, физиология) / Т. К. Головкин, И. В. Далькэ, Д. С. Бачаров [и др.]. – Санкт-Петербург : Наука, 2007. – 205 с.
27. Далькэ, И. В. Фотосинтез и дыхание растений бореальной зоны / И. В. Далькэ, Т. К. Головкин // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. – 2011. – № 7–8. – С. 5–9.
28. Дыхание растений Приполярного Урала / Т. К. Головкин, И. В. Далькэ, Г. Н. Табаленкова [и др.] // Ботанический журнал. – 2009. – Т. 94, № 8. – С. 1216–1226.
29. Genetic differentiation of two phenotypes of *Plantago media* L. in South Timan / I. G. Zakhochiy, D. M. Shadrin, Ya. I. Pylina [et al.] // Ecological genetics. – 2020. – Vol. 18, N 2. – P. 139–148.

30. Morphological and functional traits of herbaceous plants with different functional types in the European Northeast / I. V. Dalke, A. B. Novakovskiy, S. P. Maslova [et al.] // *Plant Ecology*. – 2018. – Vol. 219, N 11. – P. 1295–1305.
31. Пигментный комплекс растений природной флоры европейского Северо-Востока / Т. К. Головки, И. В. Далькэ, О. В. Дымова [и др.] // *Известия Коми НЦ УрО РАН*. – 2010. – № 1. – С. 39–46.
32. Dymova, O. V. Photosynthetic pigments in native plants of the taiga zone at the European Northeast Russia / O. V. Dymova, T. K. Golovko // *Russian Journal of Plant Physiology*. – 2019. – Vol. 66, N 3. – P. 384–392.
33. Дымова, О. В. Пигментный комплекс растений в условиях таежной зоны европейского Северо-Востока (организация и функционирование) : автореф. дис. ... д-ра биол. наук / О. В. Дымова. – Уфа, 2019. – 44 с.
34. Яцко, Я. Н. Пигментный комплекс зимне- и вечнозеленых растений в подзоне средней тайги европейского Северо-Востока / Я. Н. Яцко, О. В. Дымова, Т. К. Головки // *Ботанический журнал*. – 2009. – Т. 94, № 12. – С. 1812–1820.
35. Головки, Т. К. Сезонные изменения состояния фотосинтетического аппарата трех бореальных видов хвойных растений в подзоне средней тайги на европейском Северо-Востоке / Т. К. Головки, Я. Н. Яцко, О. В. Дымова // *Хвойные бореальной зоны*. – 2013. – Т. 31, № 1–2. – С. 73–78.
36. Yatsko, Ya. N. Violaxanthin cycle pigment de-epoxidation and thermal dissipation of light energy in three boreal species of evergreen conifer plants / Ya. N. Yatsko, O. V. Dymova, T. K. Golovko // *Russian Journal of Plant Physiology*. – 2011. – Vol. 58, N 1. – P. 169–173.
37. Photosynthesis, respiration and thermal energy dissipation in the leaves of two *Plantago media* L. phenotypes under natural conditions / T. K. Golovko, I. G. Zakhochiy, M. A. Shelyakin [et al.] // *Russian Journal of Plant Physiology*. – 2022. – Vol. 69, N 6. – (in press).
38. Golovko, T. K. Induction of CAM photosynthesis in *Hylotelephium triphyllum* (Haw.) Holub (Crassulaceae) under climatic conditions of the European Northeast of Russia / T. K. Golovko, I. G. Zakhochiy, G. N. Tabalenkova // *Russian Journal of Plant Physiology*. – 2021. – Vol. 68, N 1. – P. 179–187.
39. Silina, E. V. Lipid peroxidation rates, hydrogen peroxide content, and superoxide dismutase activity in leaves of a facultative CAM plant *Hylotelephium triphyllum* (Haw.) Holub and a C3 plant *Plantago media* L. under natural environmental conditions / E. V. Silina, G. N. Tabalenkova, T. K. Golovko // *Russian Journal of Plant Physiology*. – 2021. – Vol. 68, N 4. – P. 754–762.
40. Головки, Т. К. Эколого-биологические и функциональные свойства лишайников таежной зоны Европейского Северо-Востока России (обзор) / Т. К. Головки, М. А. Шелякин, Т. Н. Пыстина // *Теоретическая и прикладная экология*. – 2020. – № 1. – С. 6–13.
41. Функциональная экология лишайника *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. в таежной зоне на европейском северо-востоке России / Т. К. Головки, И. В. Далькэ, О. В. Дымова [и др.] // *Известия Коми НЦ УрО РАН*. – 2018. – № 3 (35). – С. 23–33.
42. Реакция лишайников на загрязнение среды при добыче бокситовой руды в таежной зоне / Т. К. Головки, М. А. Шелякин, И. Г. Захожий [и др.] // *Теоретическая и прикладная экология*. – 2018. – № 2. – С. 44–53.
43. Головки, Т. К. Дыхание растений (физиологические аспекты) / Т. К. Головки. – Санкт-Петербург : Наука, 1999. – 204 с.
44. Golovko, T. K. The alternative respiration pathway in leaves of *Rhodiola rosea* and *Ajuga reptans*: presumable physiological role / T. K. Golovko, N. V. Pystina // *Russian Journal of Plant Physiology*. – 2001. – Vol. 48, N 6. – P. 733–740.
45. Гармаш, Е. В. Функциональная роль и регуляция альтернативного (цианидустойчивого) дыхания растений: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Е. В. Гармаш. – Сыктывкар, 2020. – 44 с.
46. Garmash, E. V. Expression profiles of genes for mitochondrial respiratory energy-dissipating systems and antioxidant enzymes in wheat leaves during de-etiolation / E. V. Garmash, I. O. Velegzhaninov, O. I. Grabelnych [et al.] // *Journal of Plant Physiology*. – 2017. – Vol. 215. – P. 110–121.
47. Garmash, E. V. Signal pathways for regulation of plant alternative oxidase genes' expression / E. V. Garmash // *Russian Journal of Plant Physiology*. – 2022. – Vol. 69. – P. 1–16.
48. Программа фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 годы) : утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 31 декабря 2020 г. № 3684-п. – С. 23–33.

References

- Golovko, T. K. Fitofiziologicheskie issledovaniya na Severe [Phytophysiological studies in the North] / T. K. Golovko, S. V. Kurenkova, G. N. Tabalenkova. – Syktyvkar : Institut biologii Komi NC UrO RAN, 2002. – 84 p.
- K 100-letiyu so dnya rozhdeniya P. P. Vavilova (1918–1984) [To the 100th anniversary of the birth of P. P. Vavilov (1918–1984)] / K. S. Zajnullina, A. V. Samarin, G. N. Tabalenkova [et al.] // *Izvestiya Komi NC UrO RAN [Izvestiya Komi SC UrB RAS]*. – 2018. – № 2 (34). – P. 100–106.
- Vavilov, P. P. Problemy rastenievodstva v Komi ASSR [Problems of crop production in the Komi ASSR] / P. P. Vavilov. – Syktyvkar, 1964. – 80 p.
- Nichiporovich, A. A. Zadachi po izucheniyu fotosinteticheskoy deyatelnosti rastenij s cel'yu povysheniya ih produktivnosti [Tasks for the study of photosynthetic activity of plants in order to increase their productivity] / A. A. Nichiporovich // *Fotosinteziruyushchie sistemy vysokoy produktivnosti [Photosynthetic systems of high productivity]*. – Moscow : Nauka, 1966. – P. 7–50.
- Nichiporovich, A. A. Fotosinteticheskaya deyatelnost' rastenij kak osnova ih produktivnosti v biosfere i zemledelii [Photosynthetic activity of plants as the basis of their productivity in the biosphere and agriculture] / A. A. Nichiporovich // *Fotosintez i produkcionnyj process [Photosynthesis and the production process]*. – Moscow : Nauka, 1988. – P. 5–28.

6. Mokronosov, A. A. Fotosinteticheskaya funkciya i celostnost' rastitel'nogo organizma [Photosynthetic function and integrity of the plant organism] / A. A. Mokronosov. – Moscow : Nauka, 1983. – 64 p.
7. Fiziologiya kartofelya v central'noj zone Komi ASSR [Physiology of potatoes in the central zone of the Komi ASSR] / E. S. Bolotova, A. G. Korbut S. V. Kurenkova [et al.]. – Syktyvkar, 1972. – 90 p.
8. Fiziologiya i biohimiya kul'turnyh rastenij na Severe [Physiology and biochemistry of cultivated plants in the North] / N. V. Chebykina, V. M. Shvecova, E. S. Bolotova [et al.]. – Leningrad : Nauka, 1976. – 120 p.
9. Fiziologiya i biohimiya mnogoletnih trav na Severe [Physiology and biochemistry of perennial grasses in the North] / E. S. Bolotova, S. V. Kurenkova, V. M. Shvecova [et al.]. – Leningrad : Nauka, 1982. – 142 p.
10. Yachmen' na Severe (selekcionno-geneticheskie i fiziologo-biohimicheskie osnovy produktivnosti) [Barley in the North (selection-genetic and physiological-biochemical bases of productivity)] / T. K. Golovko, N. A. Rodina, S. V. Kurenkova [et al.]. – Yekaterinburg : Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2004. – 155 p.
11. Shvecova, V. M. Fotosintez i produktivnost' kul'turnyh rastenij na Severe [Photosynthesis and productivity of cultivated plants in the North] / V. M. Shvecova. – Leningrad : Nauka, 1987. – 94 p.
12. Kurenkova, S. V. Pigmentnaya sistema kul'turnyh rastenij v usloviyah podzony srednej tajgi evropejskogo Severo-Vostoka [The pigment system of cultivated plants in the conditions of the middle taiga subzone of the European Northeast] / S. V. Kurenkova. – Yekaterinburg : Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 1998. – 115 p.
13. Tabalenkova, G. N. Produkcijnyj process kul'turnyh rastenij v usloviyah holodnogo klimata [The production process of cultivated plants in a cold climate] / G. N. Tabalenkova, T. K. Golovko. – St.-Petersburg : Nauka, 2010. – 231 p.
14. Shvecova, A. M. Raskhod vody polevymi kul'turami v central'noj zone Komi ASSR [Water consumption by field crops in the central zone of the Komi ASSR] / A. M. Shvecova // Doklady VASKHNIL [Reports of VASHNIL]. –1975. – N 10. – P. 10-12.
15. Ovoshchevodstvo zashchishchennogo grunta na Severe: teoreticheskie i prakticheskie aspekty Vegetable growing of protected soil in the North: theoretical and practical aspects] / T. K. Golovko, I. V. Dal'ke, E. E. Grigoraj [et al.]. – Syktyvkar : IB Komi SC UrB RAS, 2017. – 156 p.
16. Markarov, A. M. Morfofiziologiya klubneobrazuyushchih rastenij [Morphophysiology of tuberous plants] / A. M. Markarov, T. K. Golovko, G. N. Tabalenkova. – St. Petersburg : Nauka, 2001. – 208 p.
17. Morfofiziologiya i ekologiya podzemnogo metamernogo kompleksa dlinnokornevishchnyh rastenij [Morphophysiology and ecology of the underground metameric complex of long-rooted plants] / S. P. Maslova, G. N. Tabalenkova, S. N. Plyusnina [et al.]. – Moscow : Nauka, 2015. – 158 p.
18. Maslova, S. P. Tropisms of Underground Shoots – Stolons and Rhizomes/ S. P. Maslova, T. K. Golovko // Biology Bulletin Reviews. – 2018. – Vol. 8, N 3. – P. 181-192.
19. Dalke, I. V. Control of Sosnowskyi's hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) invasion on the territory of the Russian Federation / I. V. Dalke, I. F. Chadin, I. G. Zakhochiy // Russian Journal of Biological Invasions. – 2018. – Vol. 9, N 4. – P. 331-344.
20. Laboratory and field assessment of the frost resistance of Sosnowsky's hogweed / I. V. Dalke, I. F. Chadin, R. V. Malyshev [et al.] // Russian Journal of Biological Invasions. – 2020. – Vol. 11, N 1. – P. 9-20.
21. Shvecova, V. M. Intensivnost' fotosinteza nekotoryh rastenij Zapadnogo Tajmyra [The intensity of photosynthesis of some plants of the Western Taimyr] : avtoref. dis. ... kand. biol. nauk / V. M. Shvecova. – Leningrad, 1971. – 25 p.
22. Nazarov, S. K. Fotosintez rastenij ostrova Vajgach (fiziologo-biohimicheskiy aspekt) [Photosynthesis of plants of the island of Vaigach (physiological and biochemical aspect)] : avtoref. dis. ... kand. biol. nauk / S. K. Nazarov. – Kazan, 1977. – 27 p.
23. Nazarov, S. K. Fotosintez i balans ugleroda u gidrofil'nyh arkticheskikh rastenij [Photosynthesis and carbon balance in hydrophilic Arctic plants] / S. K. Nazarov, M. D. Sivkov, E. V. Nekuchaeva // Nauchnye doklady / Komi nauch.cent. UrO RAN ; Vyp. 26 [Scientific reports / Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; iss. 26]. – Syktyvkar, 1991. – 23 p.
24. Ivanova, T. I. Ispol'zovanie mechenyh assilyatov dlya rosta i dyhaniya rastenij ostrova Vrangelya [The use of labeled assimilates for the growth and respiration of plants of Wrangel Island] / T. I. Ivanova, T. K. Golovko // Botanicheskij zhurnal [Botanical Journal]. – 1983. –Vol. 68, N 4. – P. 448 – 503.
25. Semihatova, O. A. Dyhanie na podderzhanie struktury kletok u arkticheskikh rastenij [Respiration for maintaining cell structure in Arctic plants] / O. A. Semihatova, T. I. Ivanova, T. K. Golovko // Fiziologiya rastenij [Russian Journal of Plant Physiology]. – 1979. –Vol. 26, N 5. – P. 1083-1102.
26. Tolstyankovy v holodnom klimate (biologiya , ekologiya, fiziologiya) [Crassulacean plants in cold climates (biology, ecology, physiology)] / T. K. Golovko, I. V. Dalke, D. S. Bacharov [et al.]. – St.-Petersburg : Nauka, 2007. – 205 p.
27. Dalke, I. V. Fotosintez i dyhanie rastenij boreal'noj zony [Photosynthesis and respiration of plants of the boreal zone] / I. V. Dalke, T. K. Golovko // Vestnik Instituta biologii Komi NC UrO RAN [Bulletin of the Institute of Biology of Komi SC UrB RAS]. – 2011. – N 7-8. – P. 5-9.
28. Dyhanie rastenij Pripolyarnogo Urala [Respiration of plants of the Circumpolar Urals] / T. K. Golovko, I. V. Dalke, G. N. Tabalenkova [et al.] // Botanicheskij zhurnal [Botanical Journal]. – 2009. – Vol. 94, N 8. – P. 1216-1226.
29. Genetic differentiation of two phenotypes of *Plantago media* L. in South Timan / I. G. Zakhochiy, D. M. Shadrin, Ya. I. Pylina [et al.] // Ecological genetics. – 2020. – Vol. 18, N 2. – P. 139-148
30. Morphological and functional traits of herbaceous plants with different functional types in the European Northeast / I. V. Dalke, A. B. Novakovskiy, S. P. Maslova [et al.] // Plant Ecology. – 2018. – Vol. 219, N 11. – P. 1295-1305.

31. Pigmentnyj kompleks rastenij prirodnoj flory evropejskogo Severo-Vostoka [Pigment complex of plants of the natural flora of the European Northeast] / T. K. Golovko, I. V. Dalke, O. V. Dymova [et al.] // *Izvestiya Komi NC UrO RAN [Izvestiya Komi SC UrB RAS]*. – 2010. – N 1. – P. 39–46.
32. Dymova, O. V. Photosynthetic pigments in native plants of the taiga zone at the European Northeast Russia / O. V. Dymova, T. K. Golovko // *Russian Journal of Plant Physiology*. – 2019. – Vol. 66, N 3. – P. 384–392.
33. Dymova, O. V. Pigmentnyj kompleks rastenij v usloviyah tayozhnoj zony evropejskogo Severo-Vostoka (organizaciya i funkcionirovanie) [Pigment complex of plants in the conditions of the taiga zone of the European Northeast (organization and functioning)] : avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk. / O. V. Dymova. – Ufa, 2019. – 44 p.
34. Yacko, YA. N. Pigmentnyj kompleks zimne- i vechnozelenyh rastenij v podzone srednej tajgi evropejskogo Severo-Vostoka [Pigment complex of winter and evergreen plants in the middle taiga subzone of the European Northeast] / YA. N. Yatsko, O. V. Dymova, T. K. Golovko // *Botanicheskij zhurnal [Botanical Journal]*. – 2009. – Vol. 94, N 12. – P. 1812–1820.
35. Golovko, T. K. Sezonnnye izmeneniya sostoyaniya fotosinteticheskogo apparata trekh boreal'nyh vidov hvoyjnyh rastenij v podzone srednej tajgi na evropejskom Severo-Vostoke [Seasonal changes in the state of photosynthetic apparatus of three boreal coniferous plant species in the middle taiga subzone in the European Northeast] / T. K. Golovko, Ya. N. Yatsko, O. V. Dymova // *Hvojnye boreal'noj zony [Coniferous boreal zones]*. – 2013. – Vol. 31, N 1–2. – P. 73–78.
36. Yatsko, Ya. N. Violaxanthin cycle pigment de-epoxidation and thermal dissipation of light energy in three boreal species of evergreen conifer plants / Ya. N. Yatsko, O. V. Dymova, T. K. Golovko // *Russian Journal of Plant Physiology*. – 2011. – Vol. 58, N 1. – P. 169–173.
37. Photosynthesis, respiration and thermal energy dissipation in the leaves of two *Plantago media* L. phenotypes under natural conditions / T. K. Golovko, I. G. Zakhozhiy, M. A. Shelyakin [et al.] // *Russian Journal of Plant Physiology*. – 2022. – Vol. 69, N 6. – (in press).
38. Golovko, T. K. Induction of CAM photosynthesis in *Hylotelephium triphyllum* (Haw.) Holub (Crassulaceae) under climatic conditions of the European Northeast of Russia / T. K. Golovko, I. G. Zakhozhiy, G. N. Tabalenkova // *Russian Journal of Plant Physiology*. – 2021. – Vol. 68, N 1. – P. 179–187.
39. Silina, E. V. Lipid peroxidation rates, hydrogen peroxide content, and superoxide dismutase activity in leaves of a facultative CAM plant *Hylotelephium triphyllum* (Haw.) Holub and a C3 plant *Plantago media* L. under natural environmental conditions / E. V. Silina, G. N. Tabalenkova, T. K. Golovko // *Russian Journal of Plant Physiology*. – 2021. – Vol. 68, N 4. – P. 754–762.
40. Golovko, T. K. Ekologo-biologicheskie i funkcional'nye svoystva lishajnikov tayozhnoj zony Evropejskogo Severo-Vostoka Rossii (obzor) [Ecological, biological and functional properties of lichens of the taiga zone of the European Northeast of Russia (review)] / T. K. Golovko, M. A. Shelyakin, T. N. Pystina // *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya [Theoretical and applied ecology]*. – 2020. – N 1. – P. 6–13.
41. Funkcional'naya ekologiya lishajnika *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. v taezhnoj zone na evropejskom severo-vostoke Rossii [Functional ecology of the lichen *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. in the taiga zone in the European Northeast of Russia] / T. K. Golovko, I. V. Dalke, O. V. Dymova [et al.] // *Izvestiya Komi NC UrO RAN [Izvestiya Komi SC UrB RAS]*. – 2018. – N 3 (35). – P. 23–33.
42. Reakciya lishajnikov na zagryaznenie sredy pri dobyche boksitovoj rudy v taezhnoj zone [The reaction of lichens to environmental pollution during the extraction of bauxite ore in the taiga zone] / T. K. Golovko, M. A. Shelyakin, I. G. Zakhozhiy [et al.] // *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya [Theoretical and applied ecology]*. – 2018. – N 2. – P. 44–53.
43. Golovko, T. K. Dyhanie rastenij (fiziologicheskie aspekty) [Plant respiration (physiological aspects)] / T. K. Golovko. – Saint Petersburg : Nauka, 1999. – 204 p.
44. Golovko, T. K. The alternative respiration pathway in leaves of *Rhodiola rosea* and *Ajuga reptans*: presumable physiological role / T. K. Golovko, N. V. Pystina // *Russian Journal of Plant Physiology*. – 2001. – Vol. 48, N 6. – P. 733–740.
45. Garmash, E. V. Funkcional'naya rol' i regulyaciya al'ternativnogo (cianidustojchivogo) dyhaniya rastenij [The functional role and regulation of alternative (cyanide-resistant) plant respiration] : avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk / E. V. Garmash. – Syktyvkar, 2020. – 44 p.
46. Garmash, E. V. Expression profiles of genes for mitochondrial respiratory energy-dissipating systems and antioxidant enzymes in wheat leaves during de-etiolation / E. V. Garmash, I. O. Velegzhaninov, O. I. Grabelnych [et al.] // *Journal of Plant Physiology*. – 2017. – Vol. 215. – P. 110–121.
47. Garmash, E. V. Signal pathways for regulation of plant alternative oxidase genes' expression / E. V. Garmash // *Russian Journal of Plant Physiology*. – 2022. – Vol. 69. – P. 1–16.
48. Programma fundamental'nyh nauchnyh issledovanij v Rossijskoj Federacii na dolgosrochnyj period (2021–2030 gody) [The program of fundamental scientific research in the Russian Federation for the long-term period (2021–2030)] : utverzhdena rasporyazheniem Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 31 dekabrya 2020 g. № 3684-r [Decree of the Government of the Russian Federation dated December 31, 2021. № 3684] – P. 23–33.

Благодарность (госзадание)

Работа выполнена в рамках темы государственных бюджетных НИОКТР «Фотосинтез, дыхание и биоэнергетика растений и фототрофных организмов (физиолого-биохимические, молекулярно-генетические и экологические аспекты)» (рег. № 122040600021-4).

Информация об авторах:

Головко Тамара Константиновна – доктор биологических наук, главный научный сотрудник Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН; Scopus Author ID: 7004365574, <https://orcid.org/0000-0002-7993-9541> (Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук»; Российская Федерация, 167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28; e-mail: golovko@ib.komisc.ru).

About the authors:

Tamara K. Golovko – Doctor of Sciences (Biology), Chief Researcher, Institute of Biology, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; Scopus Author ID: 7004365574, <https://orcid.org/0000-0002-7993-9541> (Institute of Biology, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, GSP-2, the Komi Republic, Russia, 167982; e-mail: golovko@ib.komisc.ru).

Для цитирования:

Головко, Т. К. Экспериментальная биология растений: физиолого-биохимические исследования на Европейском Северо-Востоке (обзор) / Т. К. Головко // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Экспериментальная биология и экология». – 2022. – № 4 (56). – С. 5–13. УДК 581.1. DOI 10.19110/1994-5655-2022-4-5-13

For citation:

Golovko, T. K. Jeksperimental'naja biologija rastenij: fiziologo-biohimicheskie issledovanija na Evropejskom Severo-Vostoke (obzor) [Experimental plant biology: physiological and biochemical studies in the European NorthEast (review)] / T. K. Golovko // Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series "Experimental Biology and Ecology". – 2022. – № 4 (56). – P. 5-13. UDC 581.1. DOI 10.19110/1994-5655-2022-4-5-13

Дата поступления рукописи: 18.07.2022

Прошла рецензирование: –

Принято решение о публикации: 20.07.2022

Received: 18.07.2022

Reviewed: –

Accepted: 20.07.2022