

Институты и музеи
Institutions and Museums

DOI: 10.31857/S020596060026011-4

**ИСТОРИЯ ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ В БАЛТИЙСКОМ
ФЕДЕРАЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ИМЕНИ ИММАНУИЛА КАНТА**

ЧУПАХИНА Галина Николаевна – Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта; Россия, 236041, Калининград, ул. А. Невского, д. 14; эл. почта: tchourakhina@mail.ru

РОНЬЖИНА Елена Степановна – Сибирский институт евро-азиатского научно-образовательного сотрудничества и развития; Россия, 634024, Томск, Причальная ул., д. 7; эл. почта: e.ronzhina39@mail.ru

МАСЛЕННИКОВ Павел Владимирович – Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта; Россия, 236041, Калининград, ул. А. Невского, д. 14; эл. почта: PMaslennikov@kantiana.ru

ФЕДУРАЕВ Павел Владимирович – Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта; Россия, 236041, Калининград, ул. А. Невского, д. 14; эл. почта: pfeduraev@kantiana.ru

СКРЫПНИК Любовь Николаевна – Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта; Россия, 236041, Калининград, ул. А. Невского, д. 14; эл. почта: LSkrypnik@kantiana.ru

СУХИХ Станислав Алексеевич – Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта; Россия, 236041, Калининград, ул. А. Невского, д. 14; эл. почта: stas-asp@mail.ru

© Г. Н. Чупахина, Е. С. Роньжина, П. В. Масленников, П. В. Федураев, Л. Н. Скрыпник, С. А. Сухих

В статье рассмотрена история становления и развития физиологии растений в Балтийском федеральном университете имени Иммануила Канта с 1969 г. по настоящее время. Проанализирована роль в этом процессе первого бессменного заведующего кафедрой физиологии растений и агрохимии М. М. Окунцова и его учеников – О. А. Роньжиной, Г. Н. Чупахиной и А. С. Гребенникова, отмечено, что уже к середине 1970-х гг. под руководством Окунцова сформировалась научная школа по изучению в растениях светозависимых процессов, не связанных с фотосинтезом. В настоящее время физиологические исследования в университете проводятся на базе лаборатории природных антиоксидантов, возглавляемой Чупахиной, в работе проанализирована деятельность этой лаборатории, основными задачами которой является изучение антиоксидантной системы с целью выяснения молекулярных механизмов устойчивости

растений к неблагоприятным условиям среды, оценки качества растительной продукции, поиска объектов – продуцентов биологически-активных веществ с высокой антиоксидантной активностью и материала для генно-инженерного конструирования растений с полезными свойствами.

Ключевые слова: Калининградская область, Кёнигсбергский университет, Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, физиология растений, научная школа по светозависимым процессам, нефотосинтетическое действие света, антиоксиданты, растительные ресурсы.

Статья поступила в редакцию 3 июня 2022 г.

THE HISTORY OF PLANT PHYSIOLOGY AT THE IMMANUEL KANT BALTIC FEDERAL UNIVERSITY

CHUPAKHINA Galina Nikolaevna – Immanuel Kant Baltic Federal University; Russia, 236041, Kaliningrad, ul. A. Nevskogo, 14; E-mail: tchoupakhina@mail.ru

RONZHINA Elena Stepanovna – Siberian Institute of Eurasian Scientific and Educational Cooperation and Development; Russia, 634024, Tomsk, ul. Prichal'naya, 7; E-mail: e.ronzhina39@mail.ru

MASLENNIKOV Pavel Vladimirovich – Immanuel Kant Baltic Federal University; Russia, 236041, Kaliningrad, ul. A. Nevskogo, 14; E-mail: PMaslennikov@kantiana.ru

FEDURAEV Pavel Vladimirovich – Immanuel Kant Baltic Federal University; Russia, 236041, Kaliningrad, ul. A. Nevskogo, 14; E-mail: pfeduraev@kantiana.ru

SKRYPNIK Liubov Nikolaevna – Immanuel Kant Baltic Federal University; Russia, 236041, Kaliningrad, ul. A. Nevskogo, 14; E-mail: LSkrypnik@kantiana.ru

SUKHIKH Stanislav Alekseevich – Immanuel Kant Baltic Federal University; Russia, 236041, Kaliningrad, ul. A. Nevskogo, 14; E-mail: stas-asp@mail.ru

© G. N. Chupakhina, E. S. Ronzhina, P. V. Maslennikov, P. V. Feduraev, L. N. Skrypnik, S. A. Sukhikh

Abstract: The article reviews the history of plant physiology research at the Immanuel Kant Baltic Federal University from 1969 to this day and analyzes the role of the first and long-time head of the Department of Plant Physiology and Agrochemistry, M. M. Okuntsov, and his pupils, O. A. Ronzhina, G. N. Chupakhina, and A. S. Grebennikov, in the development of these studies. A scientific school led by Okuntsov and focused on non-photosynthetic light-dependent processes in plants had formed by the late 1970s. Presently, physiological research at the University is carried out at the Laboratory of Natural Antioxidants headed by Chupakhina. The Laboratory focuses on the studies of antioxidant system for the purposes of elucidating molecular mechanisms of plant resistance to unfavorable environmental conditions, evaluating plant product quality, and searching for producers of biologically active substances with high antioxidant activity and material for genetic engineering of plants with beneficial traits.

Keywords: Kaliningrad Oblast, University of Königsberg, Immanuel Kant Baltic Federal University, plant physiology, scientific school of light-dependent processes, non-photosynthetic light action, antioxidants, plant resources.

For citation: Chupakhina, G. N., Ronzhina, E. S., Maslennikov, P. V., Feduraev, P. V., Skrypnik, L. N., and Sukhikh, S. A. (2023) Istorii fiziologii rastenii v Baltiiskom federal'nom universitete imeni Immanuila Kanta [The History of Plant Physiology at the Immanuel Kant Baltic Federal University], *Voprosy istorii estestvoznaniia i tekhniki*, vol. 44, no. 2, pp. 353–368, DOI: 10.31857/S020596060026011-4.

Калининградская область вошла в состав СССР в 1946 г. Голод, послевоенная разруха, нехватка людских ресурсов, столь необходимых для восстановления территории, отсутствие школ и педагогических кадров – вот с чем столкнулись здесь первые советские переселенцы. Грандиозные преобразования потребовались для того, чтобы из разрушенной Второй мировой войной бывшей Восточной Пруссии регион превратился в жемчужину Российской Федерации. Среди важнейших из них было развитие образования и науки. И физиологии растений здесь принадлежит достойная роль.

Одной из первоочередных мер по развитию области стало создание в 1947 г. Калининградского педагогического института (КГПИ). Исторический, литературный, физико-математический факультеты, с 1959 г. – факультет педагогики и методики начального обучения вели подготовку учителей для школ молодой Калининградской области.

Высшее учебное заведение Восточной Пруссии, Кёнигсбергский университет, был вузом с европейской и мировой известностью. Здесь работал философ И. Кант, развивали свои научные школы эмбриолог К. Бэр, физиологи Г. Гельмгольц и К. Бурдах, энтомолог О. Ретовский. Университет был ведущим исследовательским центром в области астрономии, математики и физики благодаря трудам Ф. Бесселя, Л. Гессе, Д. Гильберта, К. Гольдбаха, Г. Кирхгофа, К. Линдемана, М. Мениуса, К. Якоби. Гуманитарные науки достойно представляли Г. Байер, И. Гердер, И. Готтшед, Э. Гофман, Я. Краус, Л. Реза, Ф. Рюль, Г. Сабинус, В. Тило, экономические – Г. Грюнберг. Физиология растений в Кёнигсбергском университете получила развитие в первой трети XX столетия благодаря трудам двух выдающихся ученых – М. Мичерлиха (*M. Mitscherlich*, 1874–1965) и К. Мотеса (*K. Mothes*, 1900–1983). Работы Мичерлиха, основателя, по его образному выражению, «физиологического почвоведения», включали широчайшую сеть производственных опытов по выяснению зависимости продуктивности растений от условий минерального питания¹, фундаментальные труды Мотеса были связаны

¹ *Роньжина Е. С.* Профессор Макс Эйльхард Альфред Мичерлих (Митчерлих) // Бюллетень Общества физиологов растений России. 2014. Вып. 30. С. 3–14.

с изучением азотистого обмена, биохимии и физиологической роли азотсодержащих веществ — алкалоидов и фитогормонов цитокининов².

Возникший на разрушенной войной территории педагогический институт был несопоставим по научному уровню с Кёнигсбергским университетом. В институте был представлен ограниченный круг специальностей, отсутствовала нормальная материальная и научная база, вуз испытывал кадровый голод. Даже к концу 1950-х гг. в КГПИ не работало ни одного профессора или доктора наук, каждый второй преподаватель не имел ученой степени, а специалистов биологического профиля не было вовсе³. Ни в пединституте, ни во всей Калининградской области какие-либо научные изыскания по изучению растений не проводились, биологическое образование в этот сложный период в регионе отсутствовало. Лишь агрохимическая служба во главе с известным почвоведом Владимиром Ильичом Панасиным (1938–2021) выполняла биохимический анализ кормовых трав для нужд животноводства. В масштабах всей области она определяла их питательную ценность по содержанию сырого протеина, клетчатки, безазотистых экстрактивных веществ, золы и некоторых витаминов.

Ситуация с наукой и высшим образованием в регионе коренным образом изменилась благодаря тому, что на нее обратило внимание руководство СССР. В результате в 1967 г. в Калининграде на базе педагогического института был открыт Калининградский государственный университет (КГУ). Уже тот факт, что вуз был образован согласно постановлению Совета Министров СССР, хотя традиционно подобные трансформации находились в ведении Министерства высшего и среднего специального образования РСФСР, свидетельствовало о государственной важности этого события.

С тех пор началось стремительное развитие университета, продолжающееся и в настоящее время. За годы своего существования вуз дважды менял название и статус. В 2005 г. КГУ был переименован в Российский государственный университет имени Иммануила Канта, а в 2010 г. — преобразован в Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта (БФУ им. И. Канта). Эти изменения были необходимы для успешного развития университета. Сегодня он является центром образования и науки в Калининградской области.

Создание КГУ сделало возможным появление и развитие физиологии растений в регионе. Произошло это по инициативе первого ректора университета Николая Васильевича Прикладова (1915–1973). До переезда в Калининград он возглавлял Сибирский ботанический сад при Томском государственном университете (ТГУ).

² Kurt Mothes — the Stages in His Life // Sink-Source Relationships and Plant Productivity: Proceedings of the International Symposium “Sink-Source Relationships in Plants” (May 21–26, 2007, Kaliningrad, Russia) / E. S. Ron'zhina (ed.) Kaliningrad: Калининградская городская типография, 2007. P. 10–11.

³ Баранова Е. В., Курганский А. А. Процесс формирования профессорско-преподавательского коллектива Калининградского педагогического института (1948–1950-е годы) // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Гуманитарные и общественные науки. 2019. № 2. С. 76–86.

Став ректором КГУ, он в 1969 г. сформировал первую физиологическую кафедру – кафедру физиологии растений и агрохимии. Первоначально она получила прописку на факультете естественных наук, а в 1971 г. – на вновь созданном биологическом факультете. С 1978 г. она продолжила свое функционирование под новым названием, будучи переименованной в кафедру физиологии растений и биохимии. В совокупности физиологическая кафедра просуществовала в университете 20 лет, до конца 1980-х гг.

Первым и бессменным заведующим этой кафедрой все годы был Михаил Михайлович Окунцов (1906–1997), которого Прикладов специально пригласил из ТГУ. Выбор кандидатуры Окунцова был далеко не случаен. Научный мир знал его не только как ученого – физиолога растений, но и как организатора науки и высшей школы. В ТГУ Окунцов руководил кафедрой физиологии растений и созданной им проблемной лабораторией биологического фотосинтеза. Под его руководством в Томске были подготовлены около 20 кандидатов наук. Это был интеллигентный человек, эрудированный, увлеченный наукой специалист, личность неординарная, творческая, богатая на новые идеи, которыми он легко делился с коллегами и учениками. Его любимым высказыванием были слова венгерско-американского биохимика А. Сент-Дьерди: «Исследовать – значит видеть то, что видели все, и думать так, как не думал никто». Именно такого подхода к научной работе Окунцов придерживался сам и учил ему сотрудников и студентов.

Вместе с Окунцовым из Томска в Калининград приехали его ученики: Ольга Андреевна Роньжина (1929–2015), Галина Николаевна Чупахина (род. 1938), Анатолий Степанович Гребенников (1939–2010). Именно они создали костяк кафедры физиологии растений и агрохимии в КГУ. Для каждого из них была характерна особая увлеченность, преданность науке и полет научной мысли.

На их плечи легла вся тяжесть работы по созданию и развитию физиологии растений в КГУ и Калининградской области в целом. Под руководством Окунцова преподаватели создавали материальную базу кафедры, методические и методологические основы научных исследований. Сфера их интересов лежала в области одного из важнейших направлений физиологии и биохимии растений – фотобиологии, в рамках которой они изучали зависимые от света процессы, не связанные с фотосинтезом.

Для этого они проводили весьма серьезную методическую работу. В их арсенале были как традиционные для физиологов методы анализа растений, так и более сложные, зачастую авторские. Стандартные методы использовались для оценки различных показателей водного обмена, содержания фотосинтетических пигментов, антоцианов, углеводов, витамина B₂ (рибофлавина), выделения субклеточных структур (хлоропластов, митохондрий, пероксисом). Кроме того, на кафедре были прекрасно поставлены мало распространенные в то время методы количественного анализа различных веществ, участвующих в окислительно-восстановительных реакциях в клетке. Среди них особое внимание уделялось аскорбиновой кислоте и продуктам ее окисления, трипептиду глутатиону, фенольным соединениям,

перекиси водорода, малоновому диальдегиду, ферментам, катализирующим их метаболизм.

Авторские методические разработки в основном были связаны с оценкой содержания богатых энергией соединений: неорганических полифосфатов, адениловых нуклеотидов (АТФ, АДФ, АМФ) и их предшественников — аденина и аденозина, ферментов, участвующих во взаимопревращении этих веществ.

Этими методами в совершенстве владели не только сотрудники кафедры, но и студенты, что позволяло им выполнять дипломные работы на самом высоком научном и методическом уровне.

Все применявшиеся методы были детально описаны и опубликованы в специальных практических руководствах⁴, изданных на кафедре.

Эксперименты в основном проводились на модельных объектах. Как правило, использовались семи-восьмидневные проростки ячменя. Для моделирования светозависимых эффектов их выращивали на свету разной интенсивности, длительности, спектрального состава (белом, синем, желтом, зеленом и красном). В ряде случаев проростки проращивали без света, получая этиолированные растения. Затем их подвергали освещению в различных режимах. Нередко в исследованиях применяли ингибиторный анализ.

Большие перспективы открыл разработанный Чупахиной способ получения альбиносных проростков. Для этого семена ячменя обрабатывали антибиотиком стрептомицином. Проростки, выросшие из таких семян, имели нормальную зеленую верхушку и бесцветное альбиносное основание. Модельные альбиносы были использованы для изучения действия света на дыхание, биосинтез хлоропластных белков не только сотрудниками университета, но и учеными других научных учреждений, например лаборатории фотосинтеза Ботанического института им. В. Л. Комарова (Ленинград), Института почвоведения и фотосинтеза (Пушино), Белорусской академии наук.

Окунцов, будучи известным специалистом по энергетике растений, понимал, что именно она лежит в основе всех жизненных явлений. Поэтому в первую очередь он изучал зависимые от света реакции биосинтеза и обмена основных макроэргических соединений — адениловых нуклеотидов (АТФ, АДФ, а также АМФ). Так, он впервые показал существование у растений аденилаткиназного пути фосфорилирования⁵, при котором молекула АТФ образуется за счет двух молекул АДФ, обнаружил, что для запуска биосинтеза аденозина в пластидах зеленеющих растений необходим свет⁶. Работы

⁴ Специальный практикум по биохимии и физиологии растений / Ред. М. М. Окунцов. Томск: Изд-во Томского университета, 1974. Вып. 2; Специальный практикум по биохимии и физиологии растений / Ред. М. М. Окунцов. Калининград: Калининградская правда, 1981; Физиологические и биохимические методы анализа растений / Авт.-сост. Г. Н. Чупахина. Калининград: Изд-во КГУ, 2000.

⁵ Окунцов М. М. Аденилаткиназный путь фосфорилирования у растений // Вопросы взаимосвязи фотосинтеза и дыхания / Отв. ред. В. Л. Вознесенский. Томск: Изд-во Томского университета, 1988. С. 208–212.

⁶ Окунцов М. М., Зибирева В. А. Фотохимический биосинтез аденозина в системе адениловых нуклеотидов в этиопластах ячменя // Фотосинтез и продуктивность растений / Отв. ред. М. М. Окунцов. Калининград: Калининградская правда, 1987. С. 4–8.

сотрудников кафедры — его учеников — также в значительной степени были связаны с вопросами биоэнергетики растений.

Аспирант, а позднее доцент Гребенников сосредоточил свое внимание на изучении метаболизма и физиологической роли неорганических полифосфатов. Эти богатые энергией молекулы, впервые обнаруженные еще в конце XIX в., играют важную роль в обмене веществ у бактерий, дрожжей и животных организмов⁷. У растений же они до сих пор остаются наименее изученными из всех высокоэнергетических соединений. Гребенников обнаружил участие света в биосинтезе кислоторастворимых фракций этих веществ⁸ и получил другие важные с научной точки зрения результаты, значительно прояснив роль полифосфатов в растениях.

Интересные научные изыскания по фотоэнергетике растений выполнила доцент Роньжина. Она изучала зависимость обмена адениловых нуклеотидов и биосинтеза фотосинтетических пигментов от действия света. В ходе этих исследований она доказала, что образование АТФ, а также его предшественников — АДФ и АМФ — в растениях регулируется системой красный / дальний красный свет, т. е. находится под контролем фоторецептора фитохрома. Причем в ее опытах свет влиял на энергетический обмен не только хлоропластов, как это традиционно считалось ранее, но и митохондрий. Освещение растений изменяло количество адениловых нуклеотидов в митохондриях, увеличивало содержание АТФ. Проведенные Роньжиной эксперименты позволили выявить взаимодействие хлоропластов и митохондрий в осуществлении и других процессов. Например, она описала связь некоторых этапов биосинтеза хлорофилла в пластидах с окислительным фосфорилированием, протекающим в митохондриях⁹.

Эти и подобные им оригинальные результаты послужили предпосылкой для дальнейшей масштабной работы Роньжиной. С использованием разнообразных биохимических методов анализа она со своими учениками приступила к установлению взаимосвязи между процессами, протекающими в различных клеточных органеллах — хлоропластах, митохондриях, пероксисомах, цитоплазме. На начальном этапе исследователи сосредоточили внимание на окислительных процессах и защитных реакциях клетки на повреждающее действие активных форм кислорода, обладающих повышенной окисляющей способностью (синглетного кислорода, супероксидного радикала, пероксида водорода). Большую работу провели они по выяснению роли света в регуляции этих процессов. В 1970—1980-х гг. в мире эта проблема только начинала изучаться. Роньжина уже тогда понимала важность этих явлений для

⁷ Кулаев И. С., Вагабов В. М., Кулаковская Т. В. Высокомолекулярные неорганические полифосфаты. Биохимия, клеточная биология, биотехнология. М.: Научный мир, 2005.

⁸ Окунцов М. М., Гребенников А. С. Влияние света на содержание неорганических полифосфатов и некоторых фосфорорганических соединений у *Chlorella pyrenoidosa* Chick. // Биохимия. 1977. Т. 42. № 1. С. 21—25.

⁹ Роньжина О. А., Кравченко Е. Б. Влияние света на систему адениловых нуклеотидов в митохондриях ячменя // Вопросы взаимосвязи фотосинтеза и дыхания... С. 48—50; Роньжина О. А., Кубащина Л. М. О связи заключительных этапов биосинтеза хлорофилла с окислительным фосфорилированием в проростках ячменя и хлорелле // Фотосинтез и продуктивность растений... С. 89—94.

функционирования зеленого растения. Очевидно, что столь трудная задача не могла быть решена силами немногочисленной научной группы. Тем не менее Роньжина и ее ученики внесли существенный вклад в понимание сущности и физиолого-биохимических основ этих явлений.

Наиболее систематические исследования на кафедре провела доцент Чупахина. Сфера ее научных интересов была связана с действием света на систему аскорбиновой кислоты растений. Принципиальная новизна примененного ею подхода заключалась в комплексном анализе проблемы. Большинство ученых изучало лишь обратимое превращение аскорбиновая – дегидроаскорбиновая кислота. Чупахина же проследила дальнейшее необратимое окисление молекулы аскорбата до дикетогулоновой кислоты, провела оценку работы комплекса ферментов, окисляющих и восстанавливающих аскорбат: аскорбатоксидазы, каталазы, пероксидазы, полифенолоксидазы и др.

Проведенная ею работа показала, что биосинтез аскорбиновой кислоты является светозависимым процессом, прямо не связанным с фотосинтезом. Об этом свидетельствовал целый комплекс фактов. Так, под действием света аскорбат накапливался даже у альбиносных проростков, не способных к фотосинтезу, а спектры действия света в фотосинтезе и синтезе аскорбиновой кислоты совпадали не полностью. В частности, в биосинтезе последней большее значение имел зеленый участок спектра (480–600 нм), не используемый для фотосинтеза. При этом оказалось, что внутриклеточная локализация аскорбиновой кислоты в течение суток меняется в зависимости от освещения. Накопление в хлоропластах происходит только при короткой (2 час.) световой экспозиции. При длительном, 24-часовом, световом воздействии она накапливается в вакуолях и, что самое интересное, – в митохондриях. Эти наблюдения позволили оценить роль аскорбиновой кислоты в энергетических процессах, протекающих как в хлоропластах, так и в митохондриях. В хлоропластах она участвует либо в биосинтезе, либо в стабилизации фотосинтетического аппарата. В свою очередь, это повышает фотохимическую активность пластид и синтез АТФ в ходе фотофосфорилирования.

Влияние аскорбиновой кислоты на процессы, протекающие в митохондриях, Чупахина изучала совместно с коллегами из Ботанического института им. В. Л. Комарова. Их совместные исследования позволили выявить связь светозависимого накопления аскорбиновой кислоты с дыхательным обменом, главным образом с одним из его этапов – циклом трикарбоновых кислот.

В целом, Чупахина впервые установила зависимость превращений аскорбиновой кислоты в растениях от света, их локализацию в клетке, связь с фотосинтезом и дыханием. Результаты этой многолетней работы легли в основу ее диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук, успешно защищенной в 1992 г., и вышедшей в 1997 г. монографии «Система аскорбиновой кислоты растений»¹⁰.

¹⁰ Чупахина Г. Н. Система аскорбиновой кислоты растений. Калининград: Изд-во КГУ, 1997.

Важное практическое применение светозависимым явлениям нашел выпускник кафедры, а впоследствии ее сотрудник доцент Николай Иванович Туркин. Многие годы он посвятил теоретическим и практическим аспектам светокультуры растений. Итогом этой работы стала инновационная установка для выращивания растений при искусственном освещении в условиях гидропоники. Работа Туркина была поддержана Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Фондом содействия инновациям). В настоящее время она продолжается в рамках малого инновационного предприятия, успешно функционирующего на территории Калининградской области. Это представляется чрезвычайно актуальным для эксклавного региона в современных экономических и политических условиях.

Результаты исследований сотрудники кафедры публиковали в ведущих научных журналах, издаваемых ими и другими учреждениями сборниках научных трудов¹¹, представляли на многочисленных научных форумах – конференциях, симпозиумах, съездах.

Укреплялись научные и образовательные связи кафедры со многими вузами и научными учреждениями страны – Ботаническим институтом им. В. Л. Комарова и Всероссийским институтом растениеводства им. Н. И. Вавилова (Ленинград), Институтом почвоведения и фотосинтеза (Пушино), Институтом экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича и Центральным ботаническим садом (Минск), Ленинградским, Московским, Томским и другими университетами. Таким образом, уже к середине 1970-х гг. под руководством Окунцова в КГУ сформировалась научная школа по изучению в растениях светозависимых процессов, напрямую не связанных с фотосинтезом.

Высокопрофессиональный комплексный подход к выяснению этой проблемы позволил получать калининградским физиологам растений интересные, зачастую принципиально новые научные результаты.

Одним из них стало выявление стимулирующего действия зеленого света (480–600 нм) на целый комплекс физиолого-биохимических реакций растений. Это явление впоследствии было подтверждено в работах других ученых, но до настоящего времени изучено недостаточно. Более того, традиционно считают, что зеленый свет безразличен для растений, а механизм его рецепции до сих пор не понятен.

После завершения научно-педагогической деятельности Окунцова в конце 1980-х гг. кафедра прекратила свое существование. Однако научная школа физиологов растений в КГУ сохранилась, выстояла в суровые 1990-е гг. благодаря целеустремленности, заинтересованности и высокому профессионализму сотрудников. Руководство ею взяла на себя Чупахина, возглавившая созданную в 2008 г. в БФУ лабораторию природных антиоксидантов. Изучая

¹¹ Вопросы фотосинтеза. Работы лаборатории фотосинтеза и кафедры физиологии и биохимии растений / Ред. М. М. Окунцов. Томск: Изд-во ТГУ, 1970. Вып. 2; Фотосинтез и продуктивность растений...; Окунцов М. М., Чупахина Г. Н., Роньжина О. А., Гребенников А. С. Нефотосинтетическое действие света. Калининград: Калининградская правда, 1985; Вопросы взаимосвязи фотосинтеза и дыхания...

в течение многих десятков лет аскорбиновую кислоту, обладающую окислительно-восстановительными свойствами, она имела большой задел в исследовании антиоксидантов. Сегодня физиологические исследования в БФУ проводят на базе именно этой лаборатории. В ней вместе с Г. Н. Чупахиной работают П. В. Масленников, Л. Н. Скрыпник, П. В. Федуреаев, Н. Ю. Чупахина, Ю. Д. Горюнова, а также Р. Л. Полтавская, выполняют экспериментальные работы студенты, магистры и аспиранты.

В основе проводимых в лаборатории исследований лежит комплексное изучение всех компонентов антиоксидантной системы, низко- и высокомолекулярных соединений, чрезвычайно разнообразных по химической структуре и относящихся к различным классам. Кроме аскорбиновой кислоты и ее производных здесь анализируют антоцианы, лейкоантоцианы, каротиноиды, полифенолы, ферменты антиоксидантной системы и пр. Внимание ученых акцентируется на защитной роли этих веществ в живых организмах и их практическом использовании человеком. Поэтому исследования ведутся по двум основным направлениям, оба которых имеют региональную направленность. Одно из них связано с экологическими вопросами, механизмами устойчивости и адаптации растений к действию неблагоприятных факторов среды, другое – с поиском и получением биологически активных веществ с антиоксидантными свойствами, разработкой продуктов здорового питания.

Фундаментальные работы Федуреаева с коллегами направлены на изучение механизмов устойчивости важнейшей для области сельскохозяйственной культуры – пшеницы. В этих работах прослежена корреляция между ростом и устойчивостью растений, с одной стороны, и образованием структурного компонента клеточных стенок растений – лигнина – с другой. Предполагается, что это соединение укрепляет клеточную стенку, препятствует проникновению патогенов в клетки. Авторы выяснили, что накопление лигнина зависит от активности ключевого фермента его синтеза – фенилаланин-(тирозин)-аммиак-лиазы. Они нашли практическое применение полученным результатам. В работе сформулировано предложение стимулировать биосинтез лигнина путем обработки посевов пшеницы его предшественниками – аминокислотами фенилаланином и тирозином¹².

В серии работ сотрудники лаборатории изучили экологические условия произрастания растений на урбанизированных территориях Калининградской области. Они установили связь между устойчивостью и адаптацией растений к различным факторам среды и активностью работы антиоксидантной системы. Сходные результаты были получены при изучении чины приморской, адаптировавшейся к условиям Куршской косы¹³, 22 видов древесных и

¹² Feduraev P., Riabova A., Skrypnik L., Pungin A., Tokupova E., Maslennikov P., Chupakhina G. Assessment of the Role of PAL in Lignin Accumulation in Wheat (*Triticum aestivum* L.) at the Early Stage of Ontogenesis // International Journal of Molecular Sciences. 2021. Vol. 22. No. 18. P. 9848.

¹³ Maslennikov P., Golovina E., Artemenko A. Ecological and Geochemical Conditions for the Accumulation of Antioxidants in the Leaves of *Lathyrus maritimus* (L.) // Plants. 2020. Vol. 9. No. 6. P. 746.

травянистых растений, произрастающих на антропогенно загрязненных почвах Калининграда¹⁴, липы мелколистной, пораженной омой белой, растением-паразитом, проявляющим значительную активность в Калининграде в последние годы¹⁵. Наиболее существенную роль авторы отводят аскорбиновой кислоте, полифенолам и некоторым ферментам (каталазе, аскорбатпероксидазе и др.)¹⁶. Эти соединения обезвреживают появляющиеся при экологическом стрессе токсичные для клеток производные кислорода с высокой окисляющей способностью и тем самым повышают устойчивость растений к действию неблагоприятных факторов.

Сотрудник БФУ А. В. Пунгин выполнил работу по геоэкологической оценке состояния атмосферного воздуха города Калининград методом лишеноиндикации¹⁷.

Эти и аналогичные им работы сотрудников лаборатории природных антиоксидантов БФУ открывают широкие возможности для выяснения молекулярных механизмов и оценки устойчивости растений к антропогенному воздействию, а также для совершенствования контроля за техногенным загрязнением территорий. Для Калининградской области это имеет первостепенное значение.

Исследования, связанные с проблемой получения продуктов здорового питания, также посвящены решению актуальных задач региона. Сотрудники лаборатории детально проанализировали биохимический профиль и качество многих дикорастущих и культурных растений Калининградской области¹⁸, разработали способы их оптимизации, выявили наиболее перспективные виды с точки зрения их антиоксидантной активности. Результаты проведенных исследований стали материалом для трех монографий.

В 2016 г. в работе «Антиоксидантные свойства культурных растений Калининградской области» авторы привели многочисленные данные по количественному содержанию антиоксидантов у различных представителей дикорастущей и культурной флоры Калининградской области.

¹⁴ Maslennikov P. V., Chupakhina G. N., Skrypnik L. N., Feduraev P. V., Melnik A. S. Assessment of the Antioxidant Potential of Plants in Urban Ecosystems under Conditions of Anthropogenic Pollution of Soils // Russian Journal of Ecology. 2018. Vol. 49. No. 5. P. 384–394.

¹⁵ Skrypnik L., Maslennikov P., Feduraev P., Pungin A., Belov N. Changes in Antioxidative Compounds and Enzymes in Small-Leaved Linden (*Tilia cordata* Mill.) in Response to Mistletoe (*Viscum album* L.) Infestation // Plants. 2021. Vol. 10. No. 9. P. 1871.

¹⁶ Чупахина Г. Н., Масленников П. В., Скрыпник Л. Н. Природные антиоксиданты (экологический аспект). Калининград: Изд-во Балтийского федерального университета им. Иммануила Канта, 2011.

¹⁷ Пунгин А. В., Чайка К. В., Федурев П. В., Парфенова Д. А. Геоэкологическая оценка состояния атмосферного воздуха города Калининграда с применением метода лишеноиндикационного картирования // Успехи современного естествознания. 2018. № 8. С. 178–184.

¹⁸ Чупахина Г. Н., Масленников П. В., Скрыпник Л. Н., Чупахина Н. Ю., Федурев П. В. Антиоксидантные свойства культурных растений Калининградской области. Калининград: Изд-во Балтийского федерального университета им. Иммануила Канта, 2016.

В опубликованной через два года монографии «Овощеводство и его перспективы в Калининградской области»¹⁹ ученые БФУ представили результаты фитохимического анализа большого количества овощных культур. На его основе они составили список из 11 нетрадиционных для области овощных растений, наиболее перспективных для интродукции в почвенно-климатических условиях региона.

В основу следующего коллективного труда – «Антиоксиданты растительных кормов»²⁰ – были положены результаты научно-исследовательской работы Н. Ю. Чупахиной. В работе на конкретных примерах рассмотрена возможность повышения качества и получения сбалансированных кормов и рационов для сельскохозяйственных животных. Ее авторы считают, что достичь этой цели можно путем улучшения качественного состава кормов. Для этого в них предлагают включать разнообразные компоненты: многолетние травы, веточные корма, овощные культуры, отходы сельскохозяйственных производств и др. Авторы подчеркивают, что помимо этого повышать качество кормов и рационов целесообразно с помощью антиоксидантных добавок.

К настоящему времени сотрудники лаборатории накопили огромный экспериментальный материал по количественному содержанию всех групп антиоксидантов в овощных, древесных, кустарниковых и лекарственных растениях, произрастающих в условиях Калининградского региона. Он послужил основой для создаваемого в БФУ каталога антиоксидантов флоры Калининградской области. В свою очередь, эти знания необходимы для поиска объектов, пригодных для использования в качестве биологически активных добавок для человека и животных и материала для генно-инженерного конструирования растений с полезными свойствами.

При работе над решением проблемы здорового питания ученые университета изучают также биодоступность антиоксидантов чайных сборов, оптимизации мицеллярно-ферментативной экстракции пектина из отходов переработки яблок.

С целью получения продуктов с лечебно-профилактическим эффектом в пищевой промышленности и общественном питании специалисты БФУ используют также биотехнологические подходы. Одним из них является создание комбинированных пищевых компонентов с требуемыми свойствами за счет использования лечебного дикорастущего пищевого и лекарственного растительного сырья. Однако многие ценные виды дикорастущих растений находятся на грани исчезновения, многие из них занесены в Красную книгу Российской Федерации и отдельных регионов и их изъятие из природной среды запрещено. Поэтому для сохранения биоразнообразия целесообразно использовать альтернативный возобновляемый сырьевой

¹⁹ Чупахина Г. Н., Панасин В. И., Масленников П. В., Чупахина Н. Ю., Федурев П. В., Скрытнич Л. Н. Овощеводство и его перспективы в Калининградской области. Калининград: Изд-во Балтийского федерального университета им. Иммануила Канта, 2018.

²⁰ Чупахина Г. Н., Чупахина Н. Ю., Масленников П. В., Скрытнич Л. Н., Федурев П. В., Родина Э. С. Антиоксиданты растительных кормов. Калининград: Изд-во Балтийского федерального университета им. Иммануила Канта, 2019.

источник – культуры клеток, тканей и органов высших растений *in vitro*. Это направление в БФУ координирует Ольга Олеговна Бабич.

Культура клеток высших растений представляет собой уникальную экспериментально созданную биологическую систему – популяцию растительных соматических клеток. Основным преимуществом ее применения является экологическая безопасность производства, независимость получения необходимого количества биомассы растения от сезона и климатических условий и высокие скорости получения необходимого количества сырья.

Особое внимание ученые БФУ уделяют получению природных соединений через каллусные культуры лекарственных растений. Это направление является весьма перспективным для биотехнологического производства ценных биологически активных веществ.

Бабич с коллегами существенно усовершенствовала технологию культивирования *in vitro* ряда редких растений, имеющих промышленное значение: иссопа лекарственного (*Hyssopus officinalis* L.), маакии амурской (*Maackia amurensis* Rupr.), силера (*Laserpitium siler* L.). Был изучен химический профиль каждой культуры, оптимальные параметры экстракции ценных биологически активных веществ из высушенной биомассы каллуса, суспензионных культур клеток²¹.

В ходе исследований ученые четко показали, что клеточные культуры этих растений содержат в своем составе соединения с высокой антиоксидантной активностью и могут служить альтернативой стандартному растительному сырью. Это открывает широкие перспективы их применения в биотехнологической и пищевой промышленности, в фармакологии.

Таким образом, исследования антиоксидантов растений, проводимые в БФУ им. И. Канта, год от года расширяются за счет увеличения числа определяемых соединений, привлечения новых объектов – низших растений, одноклеточных фототрофов, изолированных клеток, органов и тканей. Проводится изучение адаптационных механизмов, определяющих устойчивость растений к постоянно меняющимся условиям окружающей среды. Параллельно осуществляется поиск объектов – продуцентов биологически активных веществ и материала для генно-инженерного конструирования растений с полезными свойствами. В целом, сегодня физиологические исследования в университете направлены на получение полезных продуктов для народного хозяйства.

Высокий уровень выполняемых в БФУ работ привлек внимание не только отечественных ученых, но и специалистов из других стран. С каждым годом крепнет международное сотрудничество университета с коллегами из Литвы, Беларуси, Германии, Эстонии. Результаты совместных исследований были неоднократно представлены на российских и международных научных

²¹ Babich O., Sukhikh S., Pungin A., Astahova L., Chupakhin E., Belova D., Ivanova S. Evaluation of the Conditions for the Cultivation of Callus Cultures of *Hyssopus officinalis* Regarding the Yield of Polyphenolic Compounds // Plants. 2021. Vol. 10. No 5. P. 915; Babich O. O., Skrypnik L. N., Pungin A. V. *In vitro* Study of the Antioxidant Activity of Extracts from Dried Biomass of Callus, Cell Suspension, and Root Cultures // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 689. No 1. P. 012029.

конференциях в Австрии, Германии, Ирландии, Литве, Франции), опубликованы в монографиях, отечественных и иностранных журналах, входящих в базы данных *Web of Science* и *Scopus*, четырех монографиях.

Лучшие выпускники университета разных лет, получившие специализацию в области физиологии растений, продолжают научно-исследовательскую деятельность, защищают диссертации на соискание ученых степеней, в качестве преподавателей вузов передают физиолого-биохимические знания новым поколениям специалистов. В. Ф. Смирнов преподает на кафедре биохимии и физиологии Института биологии и биомедицины Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского, возглавляет отдел химико-биологических исследований НИИ химии этого университета, а также обучает студентов на кафедре нанотехнологии и биотехнологии Института физико-химических технологий и материаловедения Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева. В течение многих десятков лет в КГУ – БФУ преподавали Н. И. Туркин и Е. Б. Кравченко (Жадобко), в Калининградском государственном техническом университете – Е. С. Роньжина, Н. Ю. Чупахина, Л. В. Малыхина, Ю. А. Нестерова и А. В. Селиванова. В настоящее время плеяду преподавателей БФУ им. И. Канта и других вузов Калининграда пополнило новое, молодое поколение выпускников. Среди них М. В. Куркина, П. В. Масленников, А. А. Петров, А. Ю. Романчук, Л. Н. Скрыпник, П. В. Федурев, Е. Ю. Головина.

References

- Babich, O. O., Skrypnik, L. N., and Pungin, A. V. (2021) *In vitro* Study of the Antioxidant Activity of Extracts from Dried Biomass of Callus, Cell Suspension, and Root Cultures, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 689, no. 1, p. 012029.
- Babich, O., Sukhikh, S., Pungin, A., Astahova, L., Chupakhin, E., Belova, D., and Ivanova, S. (2021) Evaluation of the Conditions for the Cultivation of Callus Cultures of *Hyssopus officinalis* Regarding the Yield of Polyphenolic Compounds, *Plants*, vol. 10, no. 5, p. 915.
- Baranova, E. V., and Kurganskii, A. A. (2019) Protsess formirovaniia professorsko-prepodavatel'skogo kollektiva Kaliningradskogo pedagogicheskogo instituta (1948–1950-e gody) [The Process of Formation of the Faculty of the Kaliningrad Pedagogical Institute (1948–1950s)], *Vestnik Baltiiskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta. Seriya: Gumanitarnye i obshchestvennye nauki*, no. 2, pp. 76–86.
- Chupakhina, G. N. (1997) *Sistema askorbinovoi kisloty rastenii [Ascorbic Acid System in Plants]*. Kaliningrad: Izdatel'stvo KGU.
- Chupakhina, G. N. (2000) *Fiziologicheskie i biokhimicheskie metody analiza rastenii [Physiological and Biochemical Methods of Plant Analysis]*. Kaliningrad: Izdatel'stvo KGU.
- Chupakhina, G. N., Chupakhina, N. Iu., Maslennikov, P. V., Skrypnik, L. N., Feduraev, P. V., and Rodina, E. S. (2019) *Antioksidanty rastitel'nykh kormov [Antioxidants in Vegetable Fodder]*. Kaliningrad: Izdatel'stvo Baltiiskogo federal'nogo universiteta im. Immanuila Kanta.
- Chupakhina, G. N., Maslennikov, P. V., and Skrypnik, L. N. (2011) *Prirodnye antioksidanty (ekologicheskii aspekt) [Natural Antioxidants (Ecological Aspect)]*. Kaliningrad: Izdatel'stvo Baltiiskogo federal'nogo universiteta im. Immanuila Kanta.
- Chupakhina, G. N., Maslennikov, P. V., Skrypnik, L. N., Chupakhina, N. Iu., and Feduraev, P. V. (2016) *Antioksidantnye svoystva kul'turnykh rastenii Kaliningradskoi oblasti [Antioxidant Properties of Cultivated Plants of Kaliningrad Region]*. Kaliningrad: Izdatel'stvo Baltiiskogo federal'nogo universiteta im. Immanuila Kanta.

- Chupakhina, G. N., Panasin, V. I., Maslennikov, P. V., Chupakhina, N. Iu., Feduraev, P. V., and Skrypnik, L. N. (2018) *Ovoshchevodstvo i ego perspektivy v Kaliningradskoi oblasti [Horticulture and Its Prospects in the Kaliningrad Oblast]*. Kaliningrad: Izdatel'stvo Baltiiskogo federal'nogo universiteta im. Immanuila Kanta.
- Feduraev, P., Riabova, A., Skrypnik, L., Pungin, A., Tokupova, E., Maslennikov, P., and Chupakhina, G. (2021) Assessment of the Role of PAL in Lignin Accumulation in Wheat (*Triticum aestivum* L.) at the Early Stage of Ontogenesis, *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 22, no. 18, p. 9848.
- Kulaev, I. S., Vagabov, V. M., and Kulakovskaia, T. V. (2005) *Vysokomolekuliarnye neorganicheskie polifosfaty. Biokhimiia, kletochnaia biologiia, biotekhnologiia [High Molecular Weight Inorganic Polyphosphates. Biochemistry, Cell Biology, Biotechnology]*. Moskva: Nauchnyi mir.
- Kurt Mothes – the Stages in His Life, in: Ronzhina, E. S. (ed.) *Sink-Source Relationships and Plant Productivity (Proceedings of the International Symposium "Sink-Source Relationships in Plants" (May 21–26, 2007, Kaliningrad, Russia))*. Kaliningrad: Kaliningradskaia gorodskaia tipografiia, 2007, pp. 10–11.
- Maslennikov, P. V., Chupakhina, G. N., Skrypnik, L. N., Feduraev, P. V., and Melnik, A. S. (2018) Assessment of the Antioxidant Potential of Plants in Urban Ecosystems under Conditions of Anthropogenic Pollution of Soils, *Russian Journal of Ecology*, vol. 49, no. 5, pp. 384–394.
- Maslennikov, P., Golovina, E., and Artemenko, A. (2020) Ecological and Geochemical Conditions for the Accumulation of Antioxidants in the Leaves of *Lathyrus maritimus* (L.), *Plants*, vol. 9, no. 6, p. 746.
- Okuntsov, M. M. (1988) Adenilatkinaznyi put' fosforilirovaniia u rastenii [Adenylate Kinase Phosphorylation Pathway in Plants], in: Voznesenskii, V. L. (ed.) *Voprosy vzaimosviazi fotosinteza i dykhaniiia [Problems of the Relationship between Photosynthesis and Respiration]*. Tomsk: Izdatel'stvo Tomskogo universiteta, pp. 208–212.
- Okuntsov, M. M. (ed.) (1970) *Voprosy fotosinteza. Raboty laboratorii fotosinteza i kafedry fiziologii i biokhimii rastenii [Problems of Photosynthesis. Research of the Laboratory of Photosynthesis and the Department of Plant Physiology and Biochemistry]*. Tomsk: Izdatel'stvo TGU, 1970, iss. 2.
- Okuntsov, M. M. (ed.) (1974) *Spetsial'nyi praktikum po biokhimii i fiziologii rastenii [Laboratory Methods of Plant Biochemistry and Physiology]*. Tomsk: Izdatel'stvo Tomskogo universiteta, iss. 2.
- Okuntsov, M. M. (ed.) (1981) *Spetsial'nyi praktikum po biokhimii i fiziologii rastenii [Laboratory Methods of Plant Biochemistry and Physiology]*. Kaliningrad: Kaliningradskaia pravda.
- Okuntsov, M. M. (ed.) (1987) *Fotosintez i produktivnost' rastenii [Photosynthesis and Plant Productivity]*. Kaliningrad: Kaliningradskaia pravda.
- Okuntsov, M. M., and Grebennikov, A. S. (1977) Vliianie sveta na sodержanie neorganicheskikh polifosfatov i nekotorykh fosfororganicheskikh soedinenii u *Chlorella pyrenoidosa* Chick. [The Effect of Light on the Content of Inorganic Polyphosphates and Some Phosphororganic Compounds in *Chlorella pyrenoidosa* Chick.], *Biokhimiia*, vol. 42, no. 1, pp. 21–25.
- Okuntsov, M. M., and Zibireva, V. A. (1987) Fotokhimicheskii biosintez adenoziina v sisteme adenilovykh nukleotidov v etioplastakh iachmenia [Photochemical Biosynthesis of Adenosine in the Adenine Nucleotide System in Barley Etioplasts], in: Okuntsov, M. M. (ed.) *Fotosintez i produktivnost' rastenii [Photosynthesis and Plant Productivity]*. Kaliningrad: Kaliningradskaia pravda, pp. 4–8.
- Okuntsov, M. M., Chupakhina, G. N., Ronzhina, O. A., and Grebennikov, A. S. (1985) *Nefotosinticheskoe deistvie sveta [Non-Photosynthetic Effects of Light]*. Kaliningrad: Kaliningradskaia pravda.
- Pungin, A. V., Chaika, K. V. Feduraev, P. V., and Parfenova, D. A. (2018) Geoekologicheskaiia otsenka sostoiianiia atmosfernogo vozdukha goroda Kaliningrada s primeneniem metoda likhenoidikatsionnogo kartirovaniia [Geoecological Assessment of the Atmospheric Air State in Kaliningrad Using the Lichen-Index Mapping Method], *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia*, no. 8, pp. 178–184.
- Ronzhina, E. S. (2014) Professor Maks Eil'khard Al'fred Micherlikh (Mitcherlikh) [Professor Max Eilhard Alfred Mitscherlich], *Biulleten' Obshchestva fiziologov rastenii Rossii*, iss. 30, pp. 3–14.

- Ron'zhina, O. A., and Kravchenko, E. B. (1988) Vliianie sveta na sistemu adenilovykh nukleotidov v mitohondriiakh iachmenia [The Effect of Light on the Adenyine Nucleotide System in Barley Mitochondria], in: Voznesenskii, V. L. (ed.) *Voprosy vzaimosvazi fotosinteza i dykhaniia* [Problems of the Relationship between Photosynthesis and Respiration]. Tomsk: Izdatel'stvo Tomskogo universiteta, pp. 48–50.
- Ron'zhina, O. A., and Kubashchina, L. M. (1987) O sviazi zakliuchitel'nykh etapov biosinteza khlorofilla s okislitel'nykh fosforilirovaniem v prorostkakh iachmenia i khlorelle [On the Association between the Final Stages of Chlorophyll Biosynthesis and Oxidative Phosphorylation in Barley Seedlings and Chlorella], in: Okuntsov, M. M. (ed.) *Fotosintez i produktivnos' rastenii* [Photosynthesis and Plant Productivity], pp. 89–94.
- Skrypnik, L., Maslennikov, P., Feduraev, P., Pungin, A., and Belov, N. (2021) Changes in Antioxidative Compounds and Enzymes in Small-Leaved Linden (*Tilia cordata* Mill.) in Response to Mistletoe (*Viscum album* L.) Infestation, *Plants*, vol. 10, no. 9, p. 1871.
- Voznesenskii, V. L. (ed.) (1988) *Voprosy vzaimosvazi fotosinteza i dykhaniia* [Problems of the Relationship between Photosynthesis and Respiration]. Tomsk: Izdatel'stvo Tomskogo universiteta.

Received: June 3, 2022.