

Е.Н. Виноградова, А.З. Глухов

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ФИЗИОЛОГИИ УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ В ДОНЕЦКОМ БОТАНИЧЕСКОМ САДУ

Государственное учреждение «Донецкий ботанический сад»

В статье отражены основные этапы становления и развития научной деятельности в области физиологии устойчивости растений в Донецком ботаническом саду. Основными направлениями исследований являлись проблемы устойчивости растений в засушливых природно-климатических условиях Донбасса, усугубляемых действием промышленных эмиссий, и разработка научных основ повышения толерантности растений к фитотоксикантам и эффективности их использования в оптимизации техногенной среды.

Ключевые слова: физиология растений, устойчивость, техногенное загрязнение, фитотоксичность, адаптация

Исследования в области физиологии устойчивости растений были начаты в Донецком ботаническом саду (далее – ДБС) с первых лет его существования. В 1966 г. был создан отдел агрохимии и физиологии растений. Под руководством заведующего отделом к.б.н. Давыдова И.А., младший научный сотрудник Ивашина А.П., инженер Игнатенко А.А. и агроном Чевычалова Д.К. занимались исследованием зимостойкости сортов винограда, различающихся по происхождению, изначальной морозостойкости, скороспелости и направлению использования. Была проанализирована взаимосвязь уровня зимостойкости изучаемых объектов с содержанием в них углеводов, пигментов и активностью окислительных ферментов [26].

Параллельно в отделе дендрологии и декоративного садоводства, созданном в 1965 г., наряду с выполнением значительного объема работ, связанных с созданием дендрологических коллекций и экспозиционных участков ДБС, было начато изучение устойчивости растений к неблагоприятным условиям природной и техногенной среды. Поскольку в Донбассе основными природно-климатическими факторами, влияющими на жизненное состояние растений, являются недостаточная влажность и повышенная темпера-

тура воздуха в весенне-летний период, на первом этапе исследований основное внимание было уделено изучению засухоустойчивости и жаростойкости природных и интродуцированных видов. В первом отчете о научно-исследовательской работе по теме «Научные основы строительства Донецкого ботанического сада» за 1966 г. были представлены результаты исследования водного режима как одного из основных показателей засухоустойчивости сеянцев ряда древесных пород, а также особенностей водного режима и жаростойкости растений, произрастающих в городских насаждениях в разных экологических условиях (ботанический сад, городской парк, промышленная площадка металлургического завода, террикон). Исполнителями были заместитель директора по научной работе к.с.-х.н. Тарабрин В.П., заместитель директора по садово-парковому строительству Рубцов А.Ф., старший научный сотрудник Дмитриева В.Д., младший научный сотрудник Чернышова Л.В. Исследования показали, что наиболее интенсивно повреждаются при перегреве растения, подверженные воздействию выбросов металлургического завода [25].

Работы, начатые в 1966 г., были продолжены в 1967–1969 гг. Основное направление исследований – выявление степени устойчивости древес-

ных и кустарниковых пород в условиях низкой влажности, усугубляемых высоким уровнем техногенного загрязнения среды в Донбассе. Сотрудниками отдела изучались особенности водного режима, уровень жаростойкости природных и интродуцированных древесных растений, широко используемых в зеленом строительстве и значительно различавшихся по засухоустойчивости, в частности, *Aesculus hippocastanum* L., *Acer platanoides* L., *Populus bolleana* Lauche, *Quercus robur* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Tilia cordata* Mill. Результаты проведенных исследований позволили выявить, что наиболее объективным показателем устойчивости растений к обезвоживанию является степень упорядоченности внутриклеточной воды. Засухоустойчивые виды характеризуются большей структурированностью воды в клетке и повышают ее в ответ на действие засухи и фитотоксикантов, а также более высокой интенсивностью транспирации. Загрязнение окружающей среды снижает интенсивность транспирации листьев [27]. Приспособление растений к высоким температурам осуществляется разными путями. Жароустойчивые виды отличаются высокой протоплазматической теплоустойчивостью (*Q. robur*) или способностью к регуляции температуры листа за счет интенсивной транспирации, ориентировки листьев в пространстве и т.д. (*P. bolleana*, *R. pseudoacacia*) [32]. Взаимосвязь между засухоустойчивостью и устойчивостью изученных растений к техногенному загрязнению носит характер сопряженной устойчивости, которая чаще всего бывает положительной [42]. Поскольку растения в процессе эволюции не могли выработать специфических защитно-приспособительных реакций в ответ на техногенное загрязнение, в условиях воздействия промышленных эмиссий они используют адаптивные приспособления, которые были выработаны в ответ на действие других неблагоприятных факторов среды, в частности, засухи [23]. В этой связи расширение видового состава в озеленении промышленных городов Донбасса должно идти за счет ксероморфных видов, устойчивых к засухе и высоким температурам. По результатам научной деятельности сотрудников за 1965–1969 гг. было опубликовано 14 статей и тезисов докладов на научных конференциях.

В 1970 г. на базе отдела агрохимии и физиологии растений был создан отдел физиологии

устойчивости и защиты растений, в его состав вошли также сотрудники отдела дендрологии и декоративного садоводства, занимавшиеся исследованием устойчивости растений. В 1973 г. отдел был переименован в отдел физиологии устойчивости растений. Его руководителем стал кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной работе Виктор Павлович Тарабрин.

Основными задачами первых тем научно-исследовательских работ отдела «Изучить возможности использования растений и их сообществ для борьбы с загрязнениями атмосферы и почвы Донецкого промышленного бассейна» (1970–1973 гг.) и «Влияние промышленного загрязнения окружающей среды на физиолого-биохимические функции растений и разработка методов повышения санитарно-гигиенической роли и устойчивости растений к загрязнениям» (1973–1977 гг.) было выявление характера загрязнения окружающей среды выбросами промышленных предприятий, оценка санитарно-гигиенической роли древесных растений в очистке атмосферного воздуха и почвы от фитотоксикантов, изучение влияния промышленного загрязнения на некоторые физиолого-биохимические процессы в растениях (интенсивность фотосинтеза и дыхания, азотного и белкового обмена, содержание нуклеиновых и органических кислот, активность протеолитических ферментов) и выявление наиболее устойчивых видов для озеленения техногенных территорий [6, 13]. В решении поставленных задач под руководством В.П. Тарабрина принимали участие младшие научные сотрудники Чернышова Л.В., Тетенева Т.Р., Игнатенко А.А., Медведев В.А. (с 1975 г.); инженеры Шацкая Р.М., Пельтихина Р.И., Глухова Т.И., Коршиков И.И. (с 1973 г.), Башкатов В.Г. (с 1977 г.).

На основании полученных данных выявлено, что кратковременное воздействие промышленных выбросов или низкие концентрации фитотоксикантов в начале вегетационного периода стимулируют синтетические процессы (фотосинтез, азотный обмен, синтез нуклеиновых и органических кислот). Под действием высоких концентраций поллютантов или в условиях постоянного загрязнения наблюдается торможение синтетических и усиление гидролитических процессов. Избыточное накопление фитотоксикантов вызывает ослабление и даже гибель древесных расте-

ний. Степень нарушения основных процессов жизнедеятельности зависит от физиолого-биохимических особенностей растений, уровня загрязненности атмосферного воздуха и климатических условий вегетационного периода [6, 33].

Воздействие засухи, высоких температур и техногенного загрязнения вызывают снижение интенсивности фотосинтеза, прежде всего за счет нарушений в пигментном комплексе. Однако у устойчивых видов (*Populus bolleana*, *Robinia pseudoacacia*) в условиях слабого загрязнения наблюдается повышенное содержание зеленых пигментов на протяжении почти всего вегетационного периода [44].

Постоянное воздействие техногенных эмиссий оказывает угнетающее влияние на дыхание растений. У некоторых видов интенсивность дыхания сохраняется или наблюдается ее резкое увеличение на фоне депрессии фотосинтеза. Такое энергетически обесцененное дыхание может носить приспособительный характер, поскольку приводит к образованию метаболической воды, способствующей лучшей оводненности тканей [35].

Под влиянием фитотоксикантов в первой половине вегетационного периода наблюдается увеличение содержания нуклеиновых кислот в листьях растений, преимущественно за счет РНК. Нуклеиновые кислоты находятся в центре биохимических процессов, определяющих интенсивность роста. Однако, поскольку в условиях загрязнения наблюдается торможение ростовых процессов, накопление нуклеиновых кислот, по видимому, свидетельствует о более слабой их утилизации [41].

Появлению некротических повреждений на листьях растений в условиях техногенного загрязнения предшествует снижение содержания белкового азота. Усиление протеолитического распада белка не сопровождается увеличением содержания свободных аминокислот, что свидетельствует о более глубоком распаде белков, не до аминокислот, а, возможно, до аммиака, который также оказывает отравляющее действие на растения [10, 48].

Одним из основных источников техногенного загрязнения среды в Донбассе являются предприятия черной металлургии. Выбросы предприятий металлургической промышленности распространяются на расстояние до 10 км и более и характеризуются сложным составом, в качестве

основных компонентов содержат сернистый газ, окись углерода, фенолы, пыль. В составе пыли содержатся тяжелые металлы, в первую очередь железо, а также свинец, цинк, медь, марганец. Зеленые насаждения способствуют очистке атмосферного воздуха, задерживая ингредиенты эмиссий кронами, поглощая их листьями и корнями. Способность растений задерживать пыль и поглощать из почвы и воздуха поллютанты определяет эффективность их использования для оптимизации техногенной среды [7, 40]

Отдельные виды древесных растений характеризуются избирательной способностью к поглощению токсических веществ, в частности, сернистый газ наиболее активно поглощает *Fraxinus lanceolata* Borkh., *Quercus robur*, *Populus bolleana*, *P. × canadensis* Moench., *Robinia pseudoacacia*, *Tamarix ramosissima* Lebed., *Tilia cordata* [36]. Максимальная способность к накоплению марганца выявлена у *Acer platanoides*, *P. bolleana*, *R. pseudoacacia*, меди – у *A. platanoides*, *R. pseudoacacia*, *Q. robur*, цинка – у *A. platanoides* и *Ligustrum vulgare* L., железа – у *A. platanoides*, *Aesculus hippocastanum*, *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, *Armeniaca vulgaris* Lam., *Cotinus coggygria* Scop., *Lonicera tatarica* L., *Morus alba* L., *P. bolleana*, *Q. robur* [35].

Жизненное состояние растений, произрастающих под влиянием эмиссий металлургических производств, в основном коррелирует с содержанием в воздухе сернистого газа, который может служить критерием для дифференцированного подхода к озеленению промышленных территорий. На основании результатов проведенных исследований были разработаны рекомендации по использованию зеленых насаждений для оздоровления окружающей среды на предприятиях металлургической промышленности [43]. Авторами предложен новый подход к озеленению промышленных площадок и санитарно-защитных зон металлургических предприятий. Территории, подверженные воздействию эмиссий, рекомендуется условно разделить на 3 зоны в зависимости от содержания сернистого газа в воздухе:

I. Зона условно постоянных высоких газовых концентраций. Непосредственно прилегает к источникам выбросов. Загрязнение обусловлено главным образом неорганизованными и вентиляционными выбросами, производимыми на небольшой высоте. Характеризуется постоянным

содержанием сернистого газа более 3 мг/м³. Для данной зоны характерно острое повреждение растений. Основным принцип подбора ассортимента – быстро растущие виды, обладающие хорошей регенерационной способностью.

II. Зона периодических высоких концентраций газов. Загрязнение обусловлено технологическими выбросами и диффузным распространением воздуха из первой зоны, зависит от направления ветра и по отношению к конкретным участкам является периодическим. Концентрация сернистого газа до 1 мг/м³, периодически кратковременно до 3 мг/м³. Повреждение растений носит хронический характер. Для озеленения должны использоваться виды, обладающие высокой поглотительной способностью.

III. Зона периодических относительно низких концентраций газов. Загрязнение вызывается перемещением воздушных масс из II зоны вместе с фоновым загрязнением района. Концентрация сернистого газа не превышает предельно допустимую более чем на 100 %. Хронические повреждения растений имеют менее выраженный характер, чем во II зоне, и наблюдаются преимущественно в периоды неблагоприятных погодных условий. Могут использоваться все виды, рекомендованные порайонным ассортиментом.

В соответствии с функциональным назначением зеленых насаждений для разных зон загрязнения разработан ассортимент древесно-кустарниковых растений, в состав которого включены 135 видов, относящихся к 74 родам 29 семейств. Для характеристики жизненного состояния древесно-кустарниковых растений промышленных территорий и, соответственно, их устойчивости, разработана шестибальная шкала оценки степени повреждения растений в зонах загрязнения [43]. Данная шкала учитывает как предложенные ранее классификации поражения листьев [24], так и состояние всего растения.

О практической ценности исследований свидетельствует оперативное внедрение результатов в практику народного хозяйства. На основании теоретических разработок по указанной теме составлены проекты озеленения Красногоровского огнеупорного и Харцызского трубного заводов, Зуевской ГЭЦ. За период 1970–1977 гг. сотрудники отдела физиологии устойчивости растений приняли участие в выполнении целого ряда хозяйственных тем: «Загрязнение атмосферного воз-

духа выбросами Макеевского коксохимического завода, их влияние на зеленые насаждения и разработка рекомендаций по озеленению промплощадки и санитарно-защитной зоны завода» (1969–1970 гг.), «Разработка теоретических основ рекультивации территорий, нарушенных горнодобывающей и металлургической промышленностью» (1973–1977 гг.), «Разработка принципов и методов озеленения Донецкого химико-металлургического завода» (1973–1974 гг.), «Разработка научных основ использования растений для оздоровления окружающей среды на предприятиях огнеупорной промышленности» (1974–1976 гг.), «Разработка научных основ озеленения промплощадки Ждановского коксохимического завода» (1975 г.), «Разработка научных основ озеленения Коммунарского металлургического завода» (1976 г.). Разработки специалистов ДБС в области биологического метода оздоровления окружающей среды экспонировались на Первой Всемирной выставке «Охрана окружающей среды» в г. Спокан (США), на ВДНХ СССР, где были удостоены бронзовой медали [50].

Проведенные научные исследования были обобщены в успешно защищенной докторской диссертации В.П. Тарабрина [22] и кандидатской диссертации Т.Р. Тетеновой [45]. По результатам научной деятельности в области физиологии устойчивости растений за период с 1970 по 1977 гг. опубликовано 98 статей и тезисов докладов.

С 1978 г. отдел физиологии устойчивости растений приступил к разработке пятилетней темы научно-исследовательских работ «Физиолого-биохимические основы адаптации растений к промышленным загрязнениям». В решении поставленных задач под руководством заведующего отделом д.б.н. Тарабрина В.П. принимали участие старший научный сотрудник к.б.н. Медведев В.А. (1978 г.); младшие научные сотрудники Глухова Т.И. (до 1980 г.), Игнатенко А.А., Коршиков И.И., Пельтихина Р.И., к.б.н. Тетенева Т.Р. (1978 г.), Чернышова Л.В., Шацкая Р.М.; инженер Башкатов В.Г.; старшие лаборанты Мартынова Е.А. (с 1979 г.), Баранова Н.Ю. (с 1981 г.), Десятерик (Виноградова) Е.Н. (с 1981 г.).

Задачей данного этапа исследований было изучение физиолого-биохимических механизмов устойчивости растений к техногенному загрязнению среды. Анализировалось влияние тяжелых металлов (железо, марганец, медь, цинк),

кислых газов (диоксида серы, сернистого ангидрида), а также малоизученных в то время органических ингредиентов промышленных выбросов (фенольных и азотсодержащих гетероциклических соединений) и совместное действие данных фитотоксикантов в различных сочетаниях на метаболизм различающихся по устойчивости видов с целью выявления адаптационных возможностей растений. В это же время начато исследование фитотоксичности ртути [46].

Согласно проведенным исследованиям было установлено, что токсичность изученных промышленных эмиссий определяется механизмами их трансформации и метаболизации в растительном организме. Так, химические соединения в виде газов при взаимодействии с растительной клеткой прежде всего меняют реакцию клеточного сока, в частности, кислые газы подкисляют, а аммиак подщелачивает рН клеточного сока, что вызывает различные физиолого-биохимические нарушения. Тяжелые металлы участвуют в метаболических процессах, но не трансформируются, а обладают кумулятивным действием, накапливаясь в клетке до токсичных концентраций. Устойчивость растений к тяжелым металлам связана с емкостью компартментов, среди которых первостепенная роль принадлежит клеточным стенкам, а также способностью образовывать комплексы металлов с неструктурными белками и аминокислотами. При метаболизации фенола образуются промежуточные продукты, гораздо более токсичные, чем сам фенол. Пиридиновые основания не метаболизируются в клетке, однако вступают в реакцию с различными рецепторами, которые в результате оказываются частично или полностью заблокированными [19, 36].

Методами вегетационных и полевых опытов было установлено, что слабые концентрации фитотоксикантов вызывают повышение уровня обменных процессов и направлены на усиление адаптивных реакций растений. При действии более высоких концентраций наблюдается аддитивность и синергизм токсического действия поллютантов. Так, фумигация растений сернистым газом и окислами азота оказывает стимулирующее влияние на поступление в них железа [31]. Действие пиридина (высокая и низкая концентрации) и низкой концентрации фенола приводит к увеличению водорастворимой фракции железа в листьях, высокая концентрация фенола увели-

чивает долю прочно связанных форм железа за счет резкого уменьшения ее водорастворимых форм. Накопление в организме меди, марганца и цинка тесно связано с содержанием железа [35]. Совместное действие загрязнителей вызывает нестабильность метаболических процессов (фотосинтеза, обмена азотных соединений, аминокислот, серы, активности ферментов), адаптационные процессы становятся менее эффективными, вследствие чего наблюдаются более сильные функциональные и структурные нарушения [34].

Наряду с синергическим действием большинства комплексов загрязнителей наблюдается и ослабление токсического влияния на растения некоторых комбинаций фитотоксикантов. Так, слабые концентрации металлов ослабляли токсическое действие пиридина. Поскольку повреждающее действие пиридина на растения обусловлено его способностью связываться с молекулами органических кислот и атомами некоторых металлов, вызывая дефицит данных метаболитов в организме, поступление экзогенных металлов способствует устранению такого дефицита и улучшает состояние растений. Наибольший эффект прослеживается при комплексном действии ряда металлов (медь, железо, марганец и цинк). При малых дозах диоксида серы возможно его превращение в сульфиты, которые способны нейтрализовать фенолы и снизить их отрицательное действие. В присутствии низких концентраций пиридина повреждающее действие фенолов и диоксида серы на пигментный комплекс снижается [3, 36].

По результатам проведенных экспериментов предложены пути усиления адаптации растений к химическим ингредиентам промышленного загрязнения. Так, при избытке кислых газов необходимо использовать приемы, способствующие нормализации рН, тяжелых металлов – явление их антагонизма и усиления связи с биологическими лигандами. Установлено, что использование минеральных удобрений, а также антагонизма поступления ионов в растения, особенно между железом и фосфором, повышает устойчивость растений в условиях загрязнения среды металлургическими предприятиями. В частности, фосфор, внесенный в почву в виде фосфорных удобрений, проявляет себя не только как антагонист по отношению к железу, но и способствует увеличению корневого питания растений. Тройная

доза суперфосфата на фоне калийных и азотных удобрений (N:P:K = 1:3:1) на промплощадке металлургического завода заметно ингибирует поглощение металлов и снижает повреждаемость ассимиляционного аппарата у растений [29].

Фенологические наблюдения за растениями, произрастающими в условиях техногенного загрязнения, позволили разработать принципы подбора наиболее устойчивых видов в связи с особенностями их сезонного развития. Устойчивые виды характеризуются поздним началом вегетации и поздним завершением облиствления, длительным периодом активной жизнедеятельности листьев и общей вегетации. К наиболее устойчивым относятся *Acer saccharinum* L., *Cotinus coggygia*, *Elaeagnus angustifolia* L., *Gleditsia triacanthos* L., *Populus bolleana*, *Styphnolobium japonicum* (L.) Schott. Для неустойчивых видов характерно раннее начало вегетации и облиствления, укороченный период активной жизнедеятельности листьев и общей вегетации. Было установлено, что устойчивость растений к токсикантам, как и их фенологические особенности, следует рассматривать только в региональном плане [36].

За период с 1978 по 1982 гг. сотрудниками отдела физиологии устойчивости растений были выполнены хозяйственные темы «Разработка научных основ озеленения промплощадки Харцызского трубного завода и прилегающих территорий» (1977–1978 гг.), «Использование растений для оздоровления окружающей среды на территории Северодонецкого производственного объединения «Азот» (1979–1981 гг.), «Разработка методов защиты природы и использование биологических путей оздоровления среды в условиях Дзержинского фенольного завода» (1980 г.). В ходе выполнения хозяйственной темы «Влияние промышленных выбросов предприятий Союзвторцветмета на растительность» (1979–1981 гг.) сотрудниками отдела было исследовано состояние почв и естественной растительности на территориях промышленных площадок трех заводов, расположенных в разных природно-климатических зонах: Сухоложский завод «Вторцветмет» (Свердловская область, Средний Урал), Мценский завод алюминиевых сплавов (Орловская область, средняя полоса европейской части СССР) и Свердловский завод «Вторцветмет» (Ворошиловградская область, юго-восток Украины).

Проведенные научные исследования были отражены в успешно защищенных кандидатских диссертациях Т.И. Глуховой [8], А.А. Игнатенко [9], И.И. Коршикова [17], Л.В. Чернышовой [47]. Результаты исследований устойчивости растений к промышленному загрязнению окружающей среды обобщены в коллективной монографии «Промышленная ботаника» (1980) [14]. За период 1978–1982 гг. сотрудниками отдела опубликовано 55 научных статей и тезисов докладов.

С 1983 г. сотрудники отдела приступили к углубленному анализу устойчивости растений к органическим ингредиентам эмиссий, изучение фитотоксичности которых было начато в предыдущие годы. Исследования проводились в рамках пятилетней темы НИР «Изучение устойчивости растений к органическим загрязнителям и использование зеленых насаждений в оптимизации техногенной среды». В выполнении поставленных задач под руководством заведующего отделом д.б.н. Тарабрина В.П. принимали участие старший научный сотрудник, к.б.н. Коршиков И.И.; научные сотрудники к.б.н. Игнатенко А.А., к.б.н. Чернышова Л.В.; младшие научные сотрудники к.б.н. Башкатов В.Г., к.б.н. Шацкая Р.М. (до 1986 г.), Пельтихина Р.И., Котов В.С.; инженеры, старшие лаборанты и аспиранты Мартынова Е.А., Виноградова Е.Н., Пищулина Н.Л. (с 1987 г.), Михеенко И.П., Барьяхтар М.П. (1987 г.).

В отличие от неорганических ингредиентов эмиссий органические аэрополлютанты длительное время оставались вне поля зрения исследователей. Программой данного этапа работы отдела предусматривалось изучение поступления, выделения, транслокации, аккумуляции и влияния на метаболизм растений фенольных и азотсодержащих гетероциклических соединений – основных органических ингредиентов эмиссий предприятий по термической переработке твердого топлива. На основе полученных результатов планировалось разработать научные основы повышения толерантности растений к органическим фитотоксикантам и эффективности их использования в оптимизации техногенной среды [11].

В результате исследований выявлено, что в условиях аэротехногенного загрязнения среды органическими поллютантами поступление их в растения осуществляется в основном через ассимиляционный аппарат [21]. Фенольные ингредиенты, поглощаемые листьями растений, локали-

зуются в основном в периферийных, наиболее повреждаемых участках листовой пластинки, активный транспорт фенола отсутствует. Фитотоксичность фенольных соединений зависит от их химической природы и видовых особенностей растений. В основе механизма токсического действия фенола лежит избыточное накопление промежуточных продуктов окисления типа хинонов, которые в 100 раз более токсичны. Интенсивность первичных реакций окисления фенолов до хинонов в клетках растений значительно выше, чем возможность глубокого окисления этих веществ с расщеплением бензойного кольца. Образующиеся в процессе окисления чужеродных фенолов хиноны, необратимо взаимодействуя с белками и аминокислотами, стимулируют развитие патологических процессов. Листья устойчивых растений, в отличие от неустойчивых, характеризуются слабой активностью орто-дифенолоксидазы – фермента, вызывающего окислительные трансформации чужеродных фенолов до хинонов [17]. В отличие от фенолов азотсодержащие гетероциклические соединения в клетках растений не трансформируются. Основная масса поглощенного листьями пиридина через некоторое время обратно выделяется в атмосферу. Проникший в цитоплазму пиридин связывается с белками клетки, вызывая потерю их основных функциональных свойств. В качестве акцепторов пиридина могут выступать и металлы, входящие в состав простатических групп ферментов, а также органические кислоты [1].

Анализ специфики взаимодействия изученных органических токсикантов с растительной клеткой позволяет предложить пути снижения их негативного действия: при загрязнении окружающей среды фенолом необходимо подбирать растения с низкой активностью орто-дифенолоксидазы, а при избытке пиридина – обеспечить растениям обильный полив, повышенное содержание микроэлементов и органических кислот [2, 36].

Обработка растений токсичными концентрациями пиридина и фенола приводит к увеличению содержания свободных аминокислот, общего азота, снижению содержания сульфгидрильных групп, пигментов (хлорофиллов, каротиноидов, ксантофиллов), эндогенных фенольных соединений и органических кислот, изменению активности и компонентного состава окислительных ферментов пероксидазы, полифенолоксида-

зы и супероксиддисмутазы. Выбросы коксохимических заводов (КХЗ) индуцируют преждевременное старение и опадение листьев. По мере развития повреждения листьев в них увеличивается содержание основного продукта перекисного окисления липидов (ПОЛ) – малонового диальдегида, что свидетельствует об интенсификации этого патологического процесса [19, 36].

В ходе проведенных исследований были выявлены определенные различия в устойчивости растений, произрастающих в условиях воздействия эмиссий КХЗ, по сравнению с растениями, которые произрастают в относительно экологически чистых районах. Установлено, что растения техногенных экотопов, вегетативно размноженные и выращенные в условиях лабораторного опыта, существенно отличаются по своим физиолого-биохимическим показателям и обладают повышенной устойчивости к компоненту эмиссий – фенолу, по сравнению с контрольными растениями. Различаются контрольные и опытные растения и по интенсивности репарационных процессов при действии повреждающих концентраций токсикантов. Это дает основание полагать, что наиболее устойчивые особи вегетативно размножающихся видов можно будет использовать в клоновой селекции для создания газоустойчивых форм растений, которые необходимы для озеленения коксохимических предприятий Донбасса. В дальнейшем, при выполнении следующей научно-исследовательской темы, подобные исследования были продолжены, анализировалась устойчивость к воздействию эмиссий вегетативного и семенного потомства растений, адаптированных к воздействию выбросов различных промышленных предприятий [16].

Для выявления адаптивной нормы реакции генотипов растений на воздействие органических поллютантов сотрудники отдела изучали индивидуальную изменчивость компонентного состава ферментов пероксидазы, орто- и дифенолоксидазы в листовых зачатках древесных растений, произрастающих на промплощадках КХЗ и в относительно экологически чистом районе г. Донецка. Было установлено, что в условиях техногенных экотопов уровень изменчивости ферментов ниже, чем в контроле. По-видимому, к условиям загрязнения могут адаптироваться определенные формы растений с заданной амплитудой изменчивости обменных процессов. Поиск

устойчивых видов и внутривидовой отбор устойчивых форм растений для озеленения промышленных территорий Донбасса стоит проводить в популяциях растений, адаптированных к условиям техногенных экотопов [20].

На протяжении 3-х сотрудников отдела физиологии устойчивости растений проводили озеленение территорий Авдеевского и Донецкого коксохимического заводов. На основании опыта использования растений в оптимизации техногенной среды в зонах функционирования коксохимических производств подготовлены «Рекомендации по созданию зеленых насаждений на территориях и санитарно-защитных зонах коксохимических производств Донбасса» [37]. Для озеленения территорий, подверженных воздействию эмиссий КХЗ, сотрудниками отдела был предложен и апробирован ассортимент растений, насчитывающий 60 видов древесно-кустарниковых, 15 видов цветочно-декоративных, 6 видов лиан, 26 видов злаковых и 6 видов бобовых трав. Разработаны принципы размещения растений на территории КХЗ исходя из уровня загрязнения. В первой зоне загрязнения, на промышленных площадках КЗХ, использование древесных растений нецелесообразно ввиду высокой фитотоксичности эмиссий. Для озеленения необходимо использовать травянистые цветочно-декоративные растения и злаковые травы. Для второй зоны, наряду с травянистыми, рекомендуется использовать и наиболее устойчивые древесно-кустарниковые растения, к которым относятся *Acer pseudoplatanus* L., *Ailanthus altissima*, *Armeniaca vulgaris*, *Cornus sanguinea* L., *Cotinus coggygria*, *Elaeagnus angustifolia*, *Ligustrum vulgare* L., *Populus balsamifera* L., *P. ×canadensis* L., *P. nigra* L., *P. trichocarpa* Torr. et Gray, *P. simonii* Carr., *Rhus taphina* L., *Pyrus elaeagnifolia* Pall., *Robinia pseudoacacia*, *Tamarix ramosissima*, *Ulmus glabra* Huds., *U. parvifolia* Jacq., *Salix alba* L., *Styphnolobium japonicum*. В третьей зоне загрязнения ассортимент может быть расширен за счет среднеустойчивых видов, обладающих хорошей газоаккумулирующей и пылездерживающей способностью.

Проведенные исследования легли в основу успешно защищенных кандидатских диссертаций В.Г. Башкатова [1], Р.И. Пельтихиной [30], Р.М. Шацкой [49]. За период 1983–1987 гг. сотрудниками отдела опубликовано 46 научных ста-

тей и тезисов докладов. По итогам многолетних исследований подготовлена коллективная монография «Фитотоксичность органических и неорганических загрязнителей» (1986), в которой анализируются вопросы поглощения, аккумуляции, трансформации и фитотоксичности у различающихся по устойчивости видов растений отдельных ингредиентов техногенных эмиссий, а также их комплексное действие в условиях промышленных площадок предприятий и при искусственной фумигации [36].

Разносторонние исследования по определению устойчивости различных видов растений к органическим и неорганическим токсикантам и их санитарно-гигиеническим функциям в условиях техногенно загрязненной среды позволили разработать практические рекомендации по использованию древесно-кустарниковых растений в озеленении промышленных территорий. Однако в лабораторных экспериментах достаточно проблематично изучить адаптацию растений в процессе онтогенеза в условиях техногенного загрязнения. Фактически анализируется степень их толерантности к непродолжительному воздействию поллютантов. Спектр адаптивных изменений у растений, подверженных в ходе онтогенеза хроническому воздействию эмиссий, значительно шире.

Поэтому с 1988 г. сотрудники отдела приступили к разработке пятилетней научно-исследовательской темы «Изучение физиолого-биохимических основ изменчивости растений в условиях техногенной среды с целью повышения их устойчивости», в которой была поставлена цель комплексного изучения видовой специфики устойчивости растений к воздействию различных промышленных производств Донбасса. В решении поставленных задач под руководством заведующего отделом д.б.н. Тарабрина В.П. (до 09.04.1990 г.) принимали участие старший научный сотрудник к.б.н. Коршиков И.И.; научные сотрудники к.б.н. Игнатенко А.А., к.б.н. Чернышова Л.В., к.б.н. Калиущенко С.Р.; младшие научные сотрудники к.б.н. Пельтихина Р.И. (1988 г.), Котов В.С., Михеенко И.П., инженеры, лаборанты и аспиранты Бронскова Е.Н. (1992 г.), Виноградова Е.Н., Гасанбекова (Котова) А.А. (с 1990 г.), Ладик Н.Н. (с 1989 г.), Скидан Е.М. (с 1990 г.), Пастухова (Пищулина) Н.Л., Крауц К. (до 1990 г.).

В числе главных задач данного этапа исследований было:

1. Изучение уровня изменчивости морфометрических и физиолого-биохимических признаков растений в связи с их устойчивостью к воздействию разнокачественных промышленных эмиссий.

2. Выяснение роли модификационной изменчивости в адаптации растений к условиям техногенно загрязненной среды.

3. Изучение эколого-селекционных аспектов создания устойчивых форм растений к определенному типу эмиссий.

Был проведен анализ изменчивости морфометрических и метаболических характеристик растений, произрастающих на промышленных площадках и в санитарно-защитных зонах предприятий черной и цветной металлургии, коксохимических, химических и цементного заводов, а также испытывающих токсическое влияние выхлопных газов автотранспорта. В результате проведенных исследований выявлено, что специфичность воздействия умеренно токсичных концентраций поллютантов на физиолого-биохимическом уровне определяется биологическими особенностями вида и физико-химическими особенностями эмиссий. В ходе онтогенеза древесных растений в зонах умеренного загрязнения среды возможны также адаптивные неспецифические изменения, приводящие к повышению их устойчивости к поллютантам. Эти изменения сопряжены с ксерофитизацией листьев, повышением содержания хлорофилла на единицу площади листа, возрастанием активности оксидоредуктаз и изменением их компонентного состава [12, 19].

Неспецифические изменения, отражающие интегрированную реакцию растений на повреждающее воздействие загрязнителей, проявляются в однотипном ответе – хлорозе и некрозе ассимиляционных органов, сопровождающемся снижением содержания зеленых пигментов. Хлороз листьев вызывается как прямым действием поступающих в клетку поллютантов на пигментный комплекс, так и опосредованно, через индукцию процессов ПОЛ мембран. Характерно, что в поврежденных выбросами листьев растений в большинстве случаев снижается активность супероксиддисмутазы – одного из ключевых ферментов защиты клетки от супероксидных радикалов [39]. К числу неспецифических реак-

ций можно также отнести опадение поврежденных листьев и повторное их отрастание у отдельных видов древесных растений, а также преждевременное старение листьев [16].

В условиях флуктуирующих умеренно токсичных концентраций аэрополлютантов у древесных растений возможно развитие устойчивости или снижение чувствительности к их воздействию. Так, укорененные черенки однолетних побегов растений *Populus deltoides*, произрастающих на территории металлургического и коксохимического предприятий, оказались более устойчивы при фумигации сернистым газом, а в их листьях накапливалось меньше продуктов ПОЛ и менее существенно снижалось содержание хлорофилла, чем в листьях таких же черенков растений, произрастающих на относительно экологически чистых территориях. Повышенной устойчивостью к парам фенола обладали черенки *P. deltoides*, произрастающего на территории коксохимического и фенольного заводов, в выбросах которых содержится данный токсикант. Степень устойчивости тесно коррелирует с содержанием в листьях пигментов, аминокислот, продуктов ПОЛ, активностью ферментов. Адаптированные к условиям промплощадок растения могут быть использованы как маточные для клоновой селекции газоустойчивых форм растений [16].

По всей видимости, более высокая устойчивость вегетативного потомства растений техногенных экотопов к ингредиентам эмиссий связана с онтогенетической «памятью» или длительной модификацией в виде сохраняющейся ксероморфной структуры листьев, свойственной материнским растениям. Эти модификации также сопряжены с изменением отдельных функциональных систем в процессе индивидуального развития растений. В частности, в период зимнего покоя в листовых зачатках терминальных почек *Populus deltoides* техногенных экотопов отмечается более высокое содержание пигментов, повышенная активность ферментов пероксидазы и супероксиддисмутазы [16].

Адаптация растений на молекулярном уровне проявляется в активизации синтеза стрессовых белков в условиях повышенного содержания тяжелых металлов (меди и цинка) в окружающей среде [28]. Возможны также конформационные модификации активных центров лабильных ферментов с изменением их кинетических характе-

ристик, что показано на примере пероксидазы, выделенной из листьев растений *Populus deltoides*, произрастающих в условиях воздействия эмиссий различных (коксохимического, фенольного, металлургического и цинкового) промышленных производств. Пероксидаза листьев растений техногенных экотопов более устойчива к инактивирующему воздействию ингредиентов эмиссий (пиридина, фенола, меди), чем фермент растений, не испытывающих острого воздействия поллютантов [5].

В ходе онтогенеза растений реализация адаптивного потенциала ограничена пределами амплитуды изменений фенотипической нормы генотипа. Формирование устойчивых популяций связано уже с филогенетической адаптацией, контролирующей генетическую изменчивость вида. Особенно наглядно эти изменения проявляются на промплощадках крупных промышленных производств, где происходит естественное зарастание некоторых малоэксплуатируемых участков с формированием устойчивых локальных ценопопуляций растений, адаптирующихся к комплексу неблагоприятных экологических факторов за счет отбора изначально устойчивых генотипов и физиолого-биохимических изменений, расширяющих или смещающих диапазон нормы их реакции.

Так, в условиях техногенных экотопов идет процесс формирования толерантных к поллютантам популяций *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub и *Tussilago farfara* L. вследствие отбора по признаку устойчивости растений к выбросам конкретного производства и загрязнению почвы отдельными металлами. В результате *T. farfara*, поселяющаяся на отвалах ртутного комбината, более устойчива к ртути, чем *T. farfara* из природных популяций. Это свойство сохраняется и у ее семенного потомства [22]. Повышенной устойчивостью к сернистому газу и тяжелым металлам (меди и цинку) обладает семенное потомство *B. inermis*, спонтанно заселяющего территории промышленных производств [18]. А повышенная устойчивость пероксидазы, выделенной из листьев семенного потомства *B. inermis* техногенных экотопов, к действию ингредиентов эмиссий (пиридина и фенола), может быть одним из механизмов формирования устойчивых популяций на загрязненных территориях [38].

При изучении индивидуальной и групповой изменчивости естественных вторичных субпо-

пуляций *Pinus sylvestris* L. остаточных боров Кременского леса в зависимости от степени воздействия эмиссий химических комбинатов впервые наряду с биометрическими и физиолого-биохимическими были исследованы показатели генетического полиморфизма, поскольку именно исследования фенотипической модификационной и генотипической изменчивости в популяциях растений техногенных экотопов дают возможность выяснить пути реализации онтогенетического и формирования филогенетического адаптивного потенциала вида. Генетическая дифференциация исследована по 8 аллозимным локусам. Установлено, что в условиях высоких аэротехногенных нагрузок существенно возрастает уровень генных мутаций в мегагаметофитах семян, а также повышается процент гетерозигот с нарушением сегрегации аллелей. Показатели относительной выживаемости семян, а также уровень мутаций и нарушения сегрегации аллелей являются высокочувствительными и могут быть использованы в практике генетического мониторинга качества окружающей среды [16].

С 1988 по 1992 гг. сотрудники отдела приняли участие в выполнении хоздоговорных тем «Исследование возможности накопления ртути в сельскохозяйственной продукции, выращиваемой на территории Никитовского ртутного комбината» (1988 г.), «Разработка научных основ использования растений для оздоровления окружающей среды на Донецком коксохимическом заводе» (1989–1990 г.), «Научно-исследовательские работы по фитоиндикации среды в местах проживания людей и пути рационального использования растений для ее оптимизации» (1991 г.).

Проведенные научные исследования были отражены в успешно защищенных кандидатских диссертациях В.С. Котова [22], Н.Л. Пастуховой [28], Е.Н. Виноградовой [4], докторской диссертации И.И. Коршикова [15]. Итоги научной деятельности отдела физиологии устойчивости растений за данный период отражены в 84 публикациях в профильных журналах, материалах конференций, тематических сборниках. Результаты научных исследований обобщены в коллективной монографии «Взаимодействие растений с техногенно загрязненной средой» (1995), в которой рассмотрены вопросы фитотоксичности отдельных ингредиентов и комплексного воздействия эмиссий промышленных предприятий чер-

ной и цветной металлургии, коксохимических и химических заводов, а также выхлопных газов автотранспорта, определена чувствительность 114 видов и форм древесно-кустарниковых растений к выбросам различных промышленных производств Донбасса, разработана 10-балльная шкала оценки состояния растений в условиях техногенного загрязнения [19]. Особое внимание в монографии уделено роли растений в оптимизации техногенной среды: определены принципы зонирования загрязненных территорий, дана оценка пылезадерживающей и газоаккумулирующей способности важнейших пород, а также уровней аккумуляции ими минеральных элементов и тяжелых металлов, что позволило выявить виды с высокой аккумулялирующей способностью в отношении токсичных веществ, которые рекомендуется широко использовать в озеленении промышленных районов для повышения эффективности «зеленого фильтра». В монографии И.И. Коршикова «Адаптация растений к условиям техногенно загрязненной среды» (1996) рассмотрены вопросы физиолого-биохимических механизмов адаптации растений к экстремальным условиям воздействия поллютантов [16]. Установлено, что адаптация возможна за счет модификационной изменчивости растений, подверженных в ходе онтогенеза воздействию промышленных эмиссий, а также за счет генотипической изменчивости, что показано для травянистых растений, спонтанно колонизирующих промышленные территории. Обоснована перспективность популяционно-генетических исследований растений на техногенно загрязненных территориях.

После скоропостижной смерти д.б.н., проф., чл.-корр. АН УССР Виктора Павловича Тарабрина в 1990 г. заведующим отделом стал к.б.н. Иван Иванович Коршиков. В 1991 г. отдел преобразован в лабораторию физиологии устойчивости растений им. В.П. Тарабрина, которая вошла в состав отдела промышленной ботаники. В дальнейшем приоритетным направлением научной деятельности лаборатории стали популяционно-генетические исследования.

Научные разработки, полученные в результате многолетней деятельности отдела физиологии устойчивости растений, вносят значительный вклад в понимание механизмов фитотоксичного действия выбросов различных промышленных производств и отдельных ингредиентов эмиссий,

а также адаптации растений к условиям техногенного загрязненной среды. В соответствии с функциональным назначением зеленых насаждений разработаны принципы размещения и предложен ассортимент растений для озеленения территорий с разным уровнем загрязнения эмиссиями промышленных производств. Проведена оценка чувствительности комплекса показателей, которые могут быть использованы в практике фитоиндикации качества загрязненной среды. Выявлены пути усиления адаптации растений к техногенному загрязнению и повышения их эффективности для оптимизации среды.

1. Башкатов В.Г. Эколого-физиологические основы фитотоксичности пиридиновых оснований: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тарту, 1983. 18 с.
2. Башкатов В.Г. Устойчивость растений к пиридину в связи с обеспеченностью их металлами // Микроэлементы в обмене веществ и продуктивности растений. Сборник научных трудов. К.: Наук. думка, 1984. С. 183–184.
3. Башкатов В.Г. Сумісна дія піридину, фенолу, сірчистого газу і солей металів на пігментний комплекс листків гіркокаштана звичайного // Інтродукція та акліматизація рослин на Україні. 1983. Вип. 23. С. 28–30.
4. Виноградова Е.Н. Физиолого-биохимические реакции растений в условиях техногенно загрязненной среды в Донбассе: автореф. дис. ... канд. биол. наук. К., 2010. 20 с.
5. Виноградова Е.Н., Михеенко И.П., Монтеро К., Котова А.А. Влияние промышленных токсикантов на пероксидазу листьев тополя канадского // Промышленная ботаника: состояние и перспективы развития. Тезисы докладов республиканской научной конференции, посвященной 25-летию Донецкого ботанического сада АН УССР (Донецк, сентябрь 1990 г.). К.: Наук. думка, 1990. С. 112–113.
6. Влияние промышленного загрязнения окружающей среды на физиолого-биохимические функции растений и разработка методов повышения санитарно-гигиенической роли и устойчивости растений к загрязнениям: отчет о НИР (заключительный). В 2-х томах / Донецкий ботанический сад АН УССР; науч. рук. д.б.н. Тарабрин В.П.; испол.: Башка-

- тов В.Г., Глухова Т.И., Игнатенко А.А. [и др.]. Донецк, 1977. Т. 1. 121 с., Т. 2. 168 с.
7. Глухова Т.И. Пилезахисні властивості зелених насаджень в умовах вогнетривкого виробництва // Інтродукція та акліматизація рослин на Україні. 1977. Вип 11. С. 68–70.
 8. Глухова Т.И. Физиологические основы использования растений для оптимизации среды на предприятиях огнеупорной промышленности юго-востока Украинской ССР: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Кишинев, 1979. 24 с.
 9. Игнатенко А.А. Влияние промышленного загрязнения на содержание аминокислот в растениях устойчивых и неустойчивых видов: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Казань, 1981. 20 с.
 10. Игнатенко А.А., Тарабрин В.П. Аминокислотный обмен древесных растений в условиях промышленного загрязнения / Газоустойчивость растений. Ученые записки Пермского университета. 1975. Вып. 3. С. 48–58.
 11. Изучение устойчивости растений к органическим загрязнителям и использование зеленых насаждений в оптимизации техногенной среды: отчет о НИР (заключительный). В 3-х томах / Донецкий ботанический сад АН УССР; науч. рук. д.б.н. Тарабрин В.П.; испол.: Тарабрин В.П., Коршиков И.И., Игнатенко А.А. [и др.]. Донецк, 1987. Т. 1. 98 с., Т. 2. 91 с., Т. 3. 121 с.
 12. Изучение физиолого-биохимических основ изменчивости растений в условиях техногенной среды с целью повышения их устойчивости: отчет о НИР (заключительный). В 3-х томах / Донецкий ботанический сад АН Украины; науч. рук. к.б.н. Коршиков И.И.; испол.: Коршиков И.И., Игнатенко А.А., Чернышова Л.В. [и др.]. Донецк, 1992. Т. 1. 87 с., Т. 2. 100 с., Т. 3. 76 с.
 13. Изучить возможность использования растений и их сообществ для борьбы с загрязнением атмосферы и почвы Донецкого промышленного бассейна: отчет о НИР (сводный) / Донецкий ботанический сад АН УССР; рук. чл.-корр. АН УССР Кондратюк Е.Н., испол.: Тарабрин В.П., Чернышова Л.В., Тетенева Т.Р. [и др.]. Донецк, 1973. 100 с.
 14. Кондратюк Е.Н., Тарабрин В.П., Бурда Р.И., Хархота А.И. Промышленная ботаника. К.: Наук. думка, 1980. 257 с.
 15. Коршиков И.И. Адаптация растений к условиям техногенно загрязненной среды: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Киев, 1994. 52 с.
 16. Коршиков И.И. Адаптация растений к условиям техногенно загрязненной среды. К.: Наук. думка, 1996. 238 с.
 17. Коршиков И.И. Фитотоксичность фенольных ингредиентов загрязнения окружающей среды: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Вильнюс, 1981. 24 с.
 18. Коршиков И.И., Михеенко И.П., Котов В.С., Чернышова Л.В. Стійкість потомства *Bromopsis inermis* (Leys.) Holub (Poaceae) із техногенних екоотопів до сірчастого газу і важких металів // Український ботанічний журнал. 1992. Т. 49, № 6. С. 58–63.
 19. Коршиков И.И., Котов В.С., Михеенко И.П., Игнатенко А.А., Чернышова Л.В. Взаимодействие растений с техногенно загрязненной средой: Устойчивость. Фитоиндикация. Оптимизация. К.: Наук. думка, 1995. 192 с.
 20. Коршиков И.И., Крауц К., Михеенко И.П., Тарабрин В.П. Изменчивость некоторых ферментов листовых зачатков терминальных почек тополя канадского в условиях аэротехногенного стресса // Интродукция и акклиматизация растений. 1991. Вип. 16. С. 68–73.
 21. Коршиков И.И., Тарабрин В.П. Загрязнение окружающей среды органическими веществами и устойчивость растений к их воздействию. // Проблемы фитогигиены и охрана окружающей среды. Л., 1981. С. 84–88.
 22. Котов В.С. Эколого-физиологические особенности накопления и распределения ртути в высших растениях: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Воронеж, 1991. 17 с.
 23. Кулагин Ю.З. Газоустойчивость растений и преадаптация // Экология. 1973. № 2. С. 50–54.
 24. Кулагин Ю.З. Древесные растения и промышленная среда. М.: Наука, 1974. 124 с.
 25. Научные основы строительства Донецкого ботанического сада: отчет о НИР. Раздел 2. Создание дендрария ботанического сада / Донецкий ботанический сад АН УССР; рук. Щепотьев Ф.Л., Тарабрин В.П.; испол.: Тарабрин В.П., Рубцов А.Ф., Дмитриева В.Д., Чернышова Л.В. Донецк, 1966. 235 с.
 26. Научные основы строительства Донецкого ботанического сада: отчет о НИР. Т. 2. Раздел 7.2. Физиология и биохимия устойчиво-

- сти интродуцированных растений в условиях Донбасса / Донецкий ботанический сад АН УССР; рук. зав. отд. агрохимии и физиологии растений, к.с.-х.н. Давыдов И.А., испол. Давыдов И.А., Ивашина А.П. Донецк, 1967. 304 с.
27. Панов Н.М., Рубцов А.Ф., Тарабрин В.П., Тетенева Т.Р., Чернышова Л.В., Шацкая Р.М. Устойчивость и водный режим древесных растений // Растения и промышленная среда. Материалы первой Украинской конференции (Киев, 1968). К.: Наук. думка, 1968. С 127–137.
 28. Пастухова Н.Л. Вплив важких металів на синтез стресових білків: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Київ, 1993. 15 с.
 29. Пельтихіна Р.І. Вплив фосфору на поглинання рослинами заліза, марганцю, міді та цинку // Інтродукція та акліматизація рослин на Україні. 1978. Вип. 13. С. 60–63.
 30. Пельтихіна Р.І. Эколого-физиологические аспекты аккумуляции тяжелых металлов растениями в условиях промышленной среды: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Днепропетровск, 1987. 16 с.
 31. Пельтихіна Р.І., Ігнатенко А.А., Костринська Л.О. Вплив кислих газів на поглинання заліза рослинами. // Інтродукція та акліматизація рослин на Україні. 1979. Вип. 15. С. 66–68.
 32. Тарабрин В.П. Жароустойчивость древесных растений и методы ее определения в полевых условиях // Бюллетень Главного ботанического сада. 1969. Вып. 74. С. 53–56.
 33. Тарабрин В.П. Устойчивость древесных растений в условиях промышленного загрязнения окружающей среды: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. К., 1974. 54 с.
 34. Тарабрин В.П. Физиология устойчивости древесных растений в условиях загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами // Микроэлементы в окружающей среде. К.: Наук. думка, 1980. С. 17–20.
 35. Тарабрин В.П., Ігнатенко А.А., Коршиков И.И., Пельтихіна Р.І., Чернышова Л.В. Исследование по физиологии устойчивости растений в Донбассе // Интродукция и акклиматизация растений. 1990. Вып. 14. С. 59–68.
 36. Тарабрин В.П., Кондратюк Е.Н., Башкатов В.Г. Ігнатенко А.А., Коршиков И.И., Чернышова Л.В., Шацкая Р.М. Фитотоксичность органических и неорганических загрязнителей. К.: Наук. думка, 1986. 216 с.
 37. Тарабрин В.П., Коршиков И.И. Рекомендации по созданию зеленых насаждений на территориях и в санитарно-защитных зонах коксохимических производств Донбасса. Донецк, 1991. 29 с.
 38. Тарабрин В.П., Коршиков И.И., Виноградова Е.Н., Михеенко И.П. Свойства пероксидазы проростков костреца безостого, различающихся по устойчивости к сернистому газу // Тезисы докладов Второго Съезда Всесоюзного общества физиологов растений (Минск, 24–29 сентября 1990 г.). Часть 2. Минск, 1990. С. 205.
 39. Тарабрин В.П., Коршиков И.И., Котов В.С., Михеенко И.П., Ігнатенко А.А., Чернышова Л.В., Виноградова Е.Н. Устойчивость тополя канадского к выбросам ртутного комбината // Интродукция и акклиматизация растений. 1993. Вып. 18. С. 39–45.
 40. Тарабрин В.П., Пельтихіна Р.І. Промисловий пил і його вплив на рослини // Інтродукція та акліматизація рослин на Україні. 1976. Вип. 9. С. 47–51.
 41. Тарабрин В.П., Тетеньова Т.Р. Динаміка вмісту нуклеїнових кислот у гіркокаштана і робінії звичайних в умовах промислового середовища // Досягнення ботанічної науки на Україні. К.: Наук. думка, 1974. С. 151–152.
 42. Тарабрин В.П., Рубцов А.Ф., Чернышова Л.В. Интродуцированные деревья и кустарники в озеленении Донбасса и их жаро- и засухоустойчивость // Интродукция растений и зеленое строительство в Донбассе. К.: Наук. думка, 1970. С. 25–37.
 43. Тарабрин В.П., Чернышова Л.В. Рекомендации по использованию зеленых насаждений для оздоровления окружающей среды на предприятиях металлургической промышленности. Донецк; Днепропетровск, 1978. 25 с.
 44. Тарабрин В.П., Шацкая Р.М. Інтенсивність фотосинтезу та дихання деяких деревних рослин в умовах промислового середовища // Інтродукція та експериментальна екологія рослин. 1974. Вип. 3. С. 38–41.
 45. Тетенева Т.Р. Засухоустойчивость сеянцев древесных растений и пути ее повышения в условиях Донбасса: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Донецк, 1975. 26 с.
 46. Физиолого-биохимические основы адаптации растений к промышленным загрязнениям:

- отчет о НИР (заключительный). В 2-х томах / Донецкий ботанический сад АН УССР; науч. рук. д.б.н. Тарабрин В.П.; исполнители: Тарабрин В.П., Игнатенко А.А., Коршиков И.И. [и др.]. Донецк, 1982. Т. 1. 103 с., Т.2. 153 с.
47. Чернышова Л.В. Эколого-биологические основы использования древесных растений для оптимизации среды в зоне загрязнения предприятий черной металлургии: автореф. дис. ... канд. биол. наук: Кишинев, 1981. 22 с.
48. Шацька Р.М. Азотний обмін деревних рослин, фумігованих сірчистим газом // Укр. ботан. журн. 1975. N 5. С. 663–664.
49. Шацькая Р.М. Влияние промышленной среды на содержание азотистых соединений в древесных растениях: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Кишинев, 1983. 22 с.
50. Tarabrin V.P. Employment of plants for sanitation of environment // World's Fair Spokane (Spokane, May–October 1974). Spokane, 1974.

Поступила в редакцию: 22.09.2020

UDC 001.892:581.17:502.7(477.62)

HISTORY OF RESEARCH DEVELOPMENTS IN THE FIELD OF PHYSIOLOGY OF PLANT TOLERANCE IN THE DONETSK BOTANICAL GARDEN

E.N. Vinogradova, A.Z. Glukhov

Public Institution «Donetsk Botanical Garden»

This work shows the main stages of formation and development of research activities in the field of physiology of plant tolerance in the Donetsk Botanical Garden. Research work was focused on the problems of plant hardiness to dry natural climatic conditions of Donbass, aggravated by emissions of the industry, and also on scientific grounding for increase in plant tolerance to toxic substances and their more efficient use for technogenous environment amelioration.

Key words: plant physiology, tolerance, technogenous pollution, plant toxicity, adaptation