

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук

На правах рукописи

**Научный доклад
об основных результатах подготовленной
научно-квалификационной работы (диссертации)**

**«Кедровый стланик (*Pinus pumila* (Pall.) Regel, Pinaceae): история интродукции,
биологические особенности и перспективы использования в озеленении
Санкт-Петербурга и Ленинградской области»**

**по направлению подготовки
06.06.01 «Биологические науки»
направленность (профиль)**

03.02.01 – «Ботаника»

Аспирант Анастасия Владимировна Карамышева

Научный руководитель д.б.н., профессор, Василий Трофимович Ярмишко

Санкт-Петербург

2020

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Кедровый стланик (*Pinus pumila* (Pall.) Regel) – это голосеменное вечнозелёное растение, пригодное для одиночных и групповых посадок, в том числе на альпийских горках. Он декоративен и долговечен, семена используются в пищу. Это ценное техническое, лекарственное и кормовое растение. Он прекрасно переносит климат Северо-Запада России, как в условиях прошлых веков с более холодным климатом, так и сейчас. *Pinus pumila* выращивается в Ботаническом саду Петра Великого Ботанического института имени В. Л. Комарова РАН в Санкт-Петербурге с начала XIX века и обследование имеющихся в ботанических садах Санкт-Петербурга экземпляров *Pinus pumila* показало их хорошее состояние, обильное семеношение у отдельных растений. Но в Санкт-Петербурге и Ленинградской области является крайне редким растением, важным для садоводства, озеленения и лесного хозяйства и почти неизвестен за пределами дендрологических коллекций. На наш взгляд, это вызвано рядом причин - низкой семенной продуктивностью, периодичностью семеношения и доброкачественности семян, а также их длительной всхожестью, медленным начальным ростом и плохой приживаемостью сеянцев в первые годы жизни. Все это ограничивает их широкое использование в озеленении Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Основным и наиболее ценным свойством семенного размножения является возможность получения растений на основе индивидуальной изменчивости, в большей мере приспособленных к определенным экологическим условиям. Это ценное свойство семенного потомства имеет значение и при интродукции растений. Размножение *Pinus pumila* семенами это долгий процесс, но он позволяет получить без особых финансовых затрат большое количество посадочного материала с использованием современных биотехнологических методов.

Актуальность темы не вызывает сомнений, так как посвящена вопросам выращивания и биологическим особенностям *Pinus pumila* в Санкт-Петербурге и Ленинградской области, а также разработки новых способов семенного размножения *Pinus pumila* с использованием новых росторегуляторов и различных форм наночастиц углерода для воспроизводства устойчивой популяции *Pinus pumila* на Северо-Западе. Использование новых регуляторов прорастания семян позволит упростить известные методики выращивания кедрового стланика и повысить выход и качество выращенных растений.

Цели и задачи исследования

Цель работы – изучить основные эколого-биологические характеристики кедрового стланика (*Pinus pumila* (Pall.) Regel) и оценить перспективность использования его в озеленении Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

Для достижения поставленной цели исследования решались следующие задачи:

1. Изучить литературные источники по вопросам интродукции кедрового стланика (*Pinus pumila* (Pall.) Regel) в Санкт-Петербурга и Ленинградской области;
2. Изучить эколого-биологические характеристики роста и развития кедрового стланика, включая особенности его семенного и вегетативного размножения в условиях Санкт-Петербурга и Ленинградской области.
3. Провести полевые обследования насаждений *Pinus pumila* на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области и оценить успешность его интродукции.
4. Разработать и применить в исследованиях новые инновационные методы оценки качества и стимуляции прорастания семян кедрового стланика.
5. Изучить и оценить влияние использования нанотехнологий (фуллерены, углеродные нанотрубки и графен) для ускорения процессов проращивания семян *Pinus pumila*.
6. Разработать практические рекомендации по выращиванию кедрового стланика в условиях Санкт-Петербурга и Ленинградской области

Научная новизна результатов

В работе впервые дана морфологическая характеристика семян *Pinus pumila* с помощью методов микрофокусной рентгенографии, газоразрядной визуализации и компьютерной морфометрии, что особенно значимо при работе малыми партиями семян коллекционного и селекционного материала. Впервые показано и оценено влияние новых росторегуляторов и различных форм наноуглерода на активизацию семян и вегетативное размножение *Pinus pumila*. Разработаны новые методики по ускоренному проращиванию семян, вегетативному размножению черенками и прививкой *Pinus pumila* в условиях Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

Теоретическая и практическая значимость проведённых исследований

Полученные результаты позволили разработать научно-обоснованные рекомендации по повышению эффективности воспроизведения *Pinus pumila* в процессе их интродукции. Разработаны оригинальные методики генеративного и вегетативного размножения *Pinus pumila* с использованием новых росторегуляторов и различных форм наноуглерода с возможным использованием в садово-парковом и лесном хозяйстве. Фактические научные положения и выводы могут быть применены в городских и районных комитетах по благоустройству для проектирования новых жилищных комплексов Санкт-Петербурга и Ленинградской области, что позволит повысить эстетические, санитарно-гигиенические качества городской среды. Некоторые результаты исследований могут найти свое

применение в учебных курсах и практических занятиях по ботанике и природопользованию на биологических факультетах ВУЗов.

Положения, выносимые на защиту

1. На основе геоботанических исследований и литературных данных охарактеризовано современное состояние существующих посадок *Pinus pumila* в Санкт-Петербурге и Ленинградской области
2. При исследовании показателей качества семян методом микрофокусной рентгенографии и газоразрядной визуализации доказано, что масса семян не является характеристикой качества для *Pinus pumila*. Мелкие полнозернистые и жизнеспособные семена часто весят больше, чем более крупные невыполненные семена. Эта гипотеза также подтверждена методом газоразрядной визуализации семян.
3. Разработана методика семенного размножения *Pinus pumila* с использованием оригинальных регуляторов прорастания семян. Это предельно упрощает технологию выращивания *Pinus pumila* из семян: не требуется длительная стратификация семян, исключены потери семян при осеннем посеве вследствие поедания семян грызунами и птицами. Этот способ выращивания перспективен для питомников декоративных растений в озеленении и возможно, в рекультивации земель и лесоводстве, и при наличии ограниченного количества семян – для посева.
4. Для получения качественного и большого по численности посадочного материала *Pinus pumila* размножение лучше проводить с использованием различных росторегуляторов прорастания семян.
5. По итогам интродукции *Pinus pumila* в Санкт-Петербурге и Ленинградской области, доказана перспективность разведения его в других регионах Северо-Запада.
6. Полувековая история выращивания *Pinus pumila* на Северо-Западе определенно показала, что это редкое и полезное растение может обогатить флору Санкт-Петербурга и Ленинградской области.
7. *Pinus pumila* можно широко использовать в декоративном садоводстве. Растения можно высаживать в скверах, садах и парках, а так же в каменистых садах и альпинариях.

Апробация результатов исследования

Результаты работы были представлены в 2018-2020 гг. на заседаниях отдела Ботанический сад Петра Великого БИН РАН (Санкт-Петербург, 2018, 2019, 2020). Так же некоторые аспекты работы были представлены на IV научно-технической конференции «ЛЕСА РОССИИ: ПОЛИТИКА, ПРОМЫШЛЕННОСТЬ, НАУКА, ОБРАЗОВАНИЕ» (2019), Международной научно-практической конференции «Развитие агропромышленного комплекса на основе современных научных достижений и цифровых технологий» (2020)

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. История интродукции *Pinus pumila*

Первая глава представляет собой обзор литературы по теме исследований. Глава раскрывает теоретические основы интродукции *Pinus pumila*. Уделено внимание истории изучения кедрового стланика *Pinus pumila*.

Первые сведения о кедровом стланике встречаются в книге академика С. П. Крашенинникова, который в течение 1737—1741 гг. самостоятельно путешествовал по Камчатке и исследовал местную растительность. В труде С. П. Крашенинникова «Описание земли Камчатки» (1755 г.) содержатся сведения о значении кедрового стланика в жизни местного населения и использовании отвара из хвои в качестве противочинготного средства.

Впервые кедровый стланик был описан во "Flora Rossica" в 1784 г. как разновидность европейского кедра – *Pinus cembra* L. var. *pumila* Pall. Под этим названием он приводится в ряде ботанических сочинений. Р. Э. Регель (1912а,б) установил видовую самостоятельность кедрового стланика – *P. pumila* (Pall.) Regel. Выделения кедрового стланика в качестве самостоятельного вида придерживался и А. Ф. Миддендорф (1867), которому принадлежит очень подробная экологическая характеристика вида. В настоящее время видовая самостоятельность *P. pumila* редко оспаривается.

Кедровый стланик считается введённым в культуру около 1807 г. (Hillier, Coombes, 2003). По мнению В. И. Липского и К. К. Мейсснера (1913-1915), *P. pumila* введён в культуру Ботаническим садом Петра Великого, где и выращивается успешно по настоящее время. В «Каталоге ботанических садов России» этот вид отмечен в 28 садах и дендрариях.

Особый интерес представляет опыт интродукции *Pinus pumila*, проведенный в НОС «Отрадное». Первые посевы семян кедрового стланика, полученных из лесхоза «Алексеевский» (Приморский край), были проведены осенью 1955 г. В 1956 г. были получены первые обильные всходы *Pinus pumila* (более 3000 экз.) (Связева и др., 2011). В настоящее время сохранившиеся экземпляры кедрового стланика в НОС «Отрадное» в возрасте 64 года являются самыми старыми растениями в Санкт-Петербурге и Ленинградской области. Вторыми по возрасту являются растения в Ботаническом саду Петра Великого Ботанического института имени В. Л. Комарова РАН в Санкт-Петербурге на участках 101 и 128. Их возраст составляет 48 лет (Орлова и др., 2019). В последующие годы неоднократно проводился посев семян *Pinus pumila* из природного ареала (с берега реки Амга, Алданский район, Якутия и из Магаданской области) и местных семян. *Pinus pumila* начал регулярно плодоносить с 1969 г. (Связева и др., 2011). В 1980 – 1985 гг. Ю.

А. Лукс неоднократно экспериментировал с вегетативным размножением кедрового стланика черенками с использованием стимуляторов укоренения (гетероауксин). Выход укорененных черенков составил от 5 до 10%. В настоящее время сохранилось одно растение, выращенное из черенков. Сейчас в коллекции НОС «Отрадное» БИН РАН сохранилось 22 экземпляра *Pinus pumila*.

Однако, в культуре кедровый стланик встречается в основном только в ботанических садах и арборетумах и почти отсутствует в городском озеленении за пределами дендрологических коллекций. Это справедливо как по отношению к Азиатской части России, так и к Северо-Западному региону. Одной из причин этого является недостаточная изученность биологических особенностей вида в условиях *ex situ*, несмотря на длительный период интродукции. Сейчас в Санкт-Петербурге разрабатываются способы выращивания кедрового стланика из семян местной репродукции с использованием регуляторов прорастания семян без длительной стратификации (Карамышева и др., 2019). В Западной Европе кедровый стланик считается важным садовым растением.

Глава 2. Характеристика климатических условий района исследования

Во второй главе рассматриваются климатические условия района исследований. Приведены сведения о физико-географических условиях Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Рассматриваются: геологические и геоморфологические особенности территорий, их климатические, почвенные характеристики, а также общий характер растительного и животного мира районов.

Климат Санкт-Петербург влажный, близкий к морскому, с умеренно теплым летом и довольно продолжительной умеренно холодной зимой (объясняется влиянием Гольфстрима). На протяжении большей части года преобладают дни с облачной, пасмурной погодой, рассеянным освещением.

Ленинградская область относится к зоне умеренного климата, переходного от океанического к континентальному, с умеренно мягкой зимой и умеренно теплым летом. Основной особенностью климата здесь является непостоянство погоды, обусловленное частой сменой воздушных масс, которые, в зависимости от района формирования, подразделяются на морские, континентальные и арктические.

Рельеф Санкт-Петербурга контрастен и многообразен. Максимальные высоты на Юго-западе города 176 м, на Севере в Парголово около 60 м.

В пределах Санкт-Петербурга около 100 рек, речек, ручьев и проток, свыше 20 каналов и свыше 100 озер и прудов. Главная река региона - Нева, соединяющая бассейн Ладожского оз. и Финского залива.

Встречаются почвы разного механического состава: средне- и легкосуглинистые на морене и на озерно-ледниковых глинах и суглинках; супесчаные и песчаные на озерно-ледниковых супесях и на аллювиальных песках. По происхождению почвы в основном подзолистые. В черте города почвы под зелеными насаждениями сильно загрязнены тяжелыми металлами.

Из флоры в зелёных насаждениях Санкт-Петербурга наиболее часто встречаются следующие виды: дуб, жимолость, ясень, клён, вяз, ива, акация, боярышник, сирень, бересклет, дерен, ежевика, бузина, лиственница, пихта, липа, черёмуха, тополь, крушина, спирея, берёза, рябина, барбарис, калина, лещина, жасмин, облепиха, роза, верба, каштан, конский каштан.

Более разнообразен напочвенный покров. В основном это типичные представители городской флоры: полынь, иван-чай, подорожник большой, циклахена, одуванчик, мать-и-мачеха обыкновенная, крапива двудомная. Встречаются также и луговые виды.

Согласно литературным данным на 1990-е гг. (Егоров и др., 2013) в городских насаждениях Санкт-Петербурга известно 390 видов, форм и культиваров, относящихся к 101 роду и 41 семейству, в т. ч. хвойные представлены 39 таксонами и культиварами из 3 семейств и 9 родов.

Глава 3. Объект и методы исследований

В третьей главе дана характеристика объектов исследования – Кедровый стланик (*Pinus pumila* (Pall.) Regel, Pinaceae) из мест естественного произрастания и выращенных в ботанических садах Санкт-Петербурга. В Санкт-Петербурге объектами исследования являлись 6 растений в коллекции Ботанического сада Петра Великого, 4 растения в Верхнем дендросаду ЛГУ и 2 растения в Ботаническом саду СПб ГУ и 3 растения в городских посадках. В Ленинградской области – 54 растения на берегу озера Глубокое Выборгского района, 20 растений в г. Кировск, а так же 22 растения в коллекции научно-опытной станции Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН «Отрадное».

Материалом для исследования послужили: геоботанические описания *Pinus pumila*, пробы растений, почв, семян и шишек.

Приведено подробное описание используемых методов исследования: предварительная оценка исследуемой территории в разных районах Ленинградской области (Выборгском, Кировском, Приозерском районах и др.), сбор гербарного материала, образцов хвои и шишек, почвенных образцов для лабораторного анализа, оценка экологических условий местообитания по прямым и косвенным признакам. Оценку жизненного состояния растений проводили по методике В. А. Алексеева (1989); оценку обмерзания проводилась по шкале П. И. Лапина (1967). Высоту растений

определяли нивелирной рейкой. Замеры средних годовых приростов и продолжительности жизни хвои проводилось в 4 частях растения по сторонам света в трехкратной повторности. Жизнеспособность семян определяли как стандартными методами - ГОСТ 13056.7-93 «Семена деревьев и кустарников. Методы определения жизнеспособности», так и современными. Методы микрофокусной рентгенографии и газоразрядной визуализации использовали для выявления скрытой дефектности семян и определения их посевных качеств (М. В. Архипов и др., 2013). Состояние поверхности семян исследовали методом компьютерной морфометрии. Данные методы выгодно отличаются от других информативностью, быстротой применения, целостностью и сохранностью исследуемого материала, что особенно важно при работе малыми партиями семян коллекционного и селекционного материала. Так же использовали методику полевого опыта Доспехова.

Статистическую обработку данных проводили методами дисперсионного анализа (ANOVA) с использованием статистической программы Statistica 10.0. (StatSoft, Inc. 2011), различия считались значимыми при $p < 0,05$.

Глава 4. Биологические особенности *Pinus pumila*

В четвертой главе дана подробная характеристика *Pinus pumila*, включая сведения о жизненных формах, особенностях строения вегетативных и репродуктивных органов, местах произрастания, географическом распространении.

Кедровый стланик представляет собой крупный кустарник с разветвлённым стволом от основания и с прижатыми к почве, стелющимися, а затем восходящими ветвями; редко небольшое дерево до 4–8 м высотой, при диаметре стволов до 18 см. Его молодые побеги густо опушены, а хвоинки собраны по 5 в пучках, как и у сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour). Однако, в отличие от неё, хвоинки недлинные (4-7 см дл.), по краям цельные или с очень редкими (4–7 зубцов на 1 см края) малозаметными зубцами и немного изогнутые (Орлова, 2001). Почки сильно смолистые, красноватые, заострённые. Зрелые шишки мельче, чем у сосны сибирской (3–4 см длиной, 2-2,5 см толщиной), удлинённо-яйцевидные или яйцевидные; апофизы заканчиваются отогнутым и оттянутым кнаружи пупком. Семена 6-9 мм длины и 4-6 мм. ширины, съедобные, тёмнокоричневые,. Важное пищевое растение как для человека, так и для диких животных. Семеношение начинается с 20-30 лет и продолжается до 200 и более лет. Долговечен, доживает до 850-1000 лет. *Pinus pumila* отмечается медленным ростом как в природе, так и в культуре.

Кедровый стланик образует различные по виду кроны – чашеобразные, стелющиеся над землёй или древовидные. И. Г. Серебряков (1962) определяет его

жизненную форму как вегетативно-подвижный стланец, у которого, в отличие от деревьев и прямостоячих кустарников, с возрастом происходит снижение роста главной оси и усиливается нарастание в длину и толщину боковых ветвей, что придаёт кусту чашевидную форму.

В России этот вид широко распространён в Восточной Сибири и Дальнем Востоке, а за ее пределами – в Японии, Корее, Северной Монголии, а также в Китае в провинциях Хэйлуцзян, Цзилинь, Ней-Монгол (на высоте 1000-2300 м).

Кедровый стланник встречается севернее других хвойных – по реке Лена граница ареала поднимается, заходя за Полярный Круг. В южной части ареала растёт в горах на высоте 1000 м и выше, к северу высота его распространения снижается. Восточная граница ареала проходит от Анадырского лимана на остров Медный, через южную оконечность Камчатки и Курильские острова до Японии.

Вид так же встречается в Алтае-Саянской, Средне-Сибирской, Восточно-Сибирской, Забайкальской, Маньчжурской, Сахалино-Хоккайдской и Японо-Корейской (северная часть) флористических провинциях двух областей – Циркумбореальной и Восточноазиатской. На Дальнем Востоке кедровый стланник представлен в 33 из 39 дендрофлористических районов.

Имеются работы, в которых подчёркивается, что *P. pumila* генетически связан не с *P. sibirica*, а с *P. parviflora* Sieb. et Zucc. (Комаров, 1927; Gausson, 1960 и др.). Так, В. Л. Комаров (1927) и Л. И. Малышев (1958, 1960, 1965), обсуждая данные по анатомическому строению хвои, делают вывод, что *P. pumila* более близок к *P. parviflora*, чем к *P. sibirica*. По своей биологии и географическому распространению этот вид также напоминает *P. parviflora* (Малышев, 1960). Б. П. Колесников (1956) относит *P. parviflora* к кедровым соснам, в то время как большинство исследователей помещают этот вид в группу стробоидных сосен (Pilger, 1926; Little, Critchfield, 1969; Landry, 1974). N. Mirov (1978) показал, что кедровый стланник генетически связан как с *P. parviflora*, так и с *P. sibirica*. Е. Г. Бобров (1978) считает *P. pumila* генетически близким североамериканскому *P. albicaulis* Engelm. И помещает оба эти вида в ряд *Pumilae* Bobr. секции *Cembra*.

F. Gugerli et al. (2001), исследуя результаты изучения филогенетических взаимоотношений трех видов кедровых сосен (*Pinus cembra* L., *P. sibirica* Du Tour и *P. Pumila* (Pall.) Regel), с использованием микросателлитных хлоропластных и митохондриальных последовательностей *nad1*-интрона-2, пришли к выводу об относительно недавнем эволюционном разделении *P. cembra* и *P. sibirica*, несмотря на их разобщённое в настоящее время географическое распространение. Последовательности *P.*

cebra и *P. sibirica* были практически идентичны, но *P. pumila* отличались несколькими нуклеотидными заменами и вставками / делециями.

Согласно результатам филогенетических исследований, проведенных на основе множественных маркеров ядерной ДНК (Jia et al., 2018), четыре близкородственных китайских вида сосен – *Pinus koraiensis* Siebold et Zucc., *P. armandii* Franch., *P. Griffithii* McKell. (= *P. wallichiana* A. B. Jacks.) и *P. pumila*) – разделились на две группы около 1,37 млн. лет назад. При этом *P. armandii* и *P. pumila* были ближе и сгруппированы как родственные виды, тогда как *P. koraiensis* и *P. griffithii* оказались в составе другой клады. Исследования этих авторов позволяют предположить, что поднятие гор и геологические колебания климата могли привести к генетической дивергенции и изменениям нуклеотидов у этих четырех видов сосен.

У *Pinus pumila*, как и у большинства других хвойных, система смешанного скрещивания (преобладающее скрещивание с самоопылением и скрещиванием близких родственников) что приводит к образованию частично инбредных потомков.

Генетическая изменчивость *P. pumila* была исследована (Наконечная и др., 2010) в трёх маргинальных популяциях в юго-западной, южной и восточной частях его естественного ареала (Забайкалье, Приморье, Камчатка) с использованием изоферментного анализа. Результаты этого исследования подтверждают, что *P. pumila* относится к числу наиболее полиморфных видов в роде *Pinus*. Три маргинальные популяции показали высокую генетическую изменчивость ($P_{95} = 68,8 \%$, $H_o = 0,247$, $H_e = 0,291$).

Морфологические исследования (Орлова, 2001) также подтверждают близость *P. pumila* к сосне мелкоцветковой (*P. parviflora*). Сходство с указанным видом наблюдается в морфологии хвоинок, довольно коротких (4–7 см дл.), немного изогнутых, сильной скученности брахибластов на верхушках побегов (9–12 брахибластов на 1 см дл. побега), а также в анатомическом строении хвоинок, микроспорофиллов, отличающихся довольно мелкими размерами по сравнению с остальными представителями. Обнаруженные отличия между этими видами касаются степени опушения молодых побегов, морфологии почек и их чешуй, чешуевидных листьев, профиллов брахибластов и хвоинок (по степени зубчатости краев и анатомии), а также микростробилов и микроспорофиллов. Так, молодые побеги *P. pumila* заметно густоопушённые буроватыми волосками, более старые побеги коричневые или тёмно-коричневые, а у *P. parviflora* - слегка опушённые беловатыми волосками, более старые – светло-серые, голые; хвоинки *P. pumila* на верхушке заострённые, по краям цельные или с очень редкими (4–7 зубцов на 1 см края) малозаметными зубцами (у *P. parviflora* – на верхушке тупые, по краям отчётливо

редкозубчатые (12–14 зубцов на 1 см края). Апофизы зрелых шишек *P. pumila* в верхней части с оттянутым и отогнутым кнаружи пупком, семена бескрылые, 6-9 мм дл. У *P. parviflora* апофизы на верхушке широкозакруглённые, сводчато-выпуклые, с небольшим малозаметным пупком, загнутым внутрь. Семена до 10 мм дл., удлинённо-яйцевидные, черноватые, с коротким крылом (Фирсов, Орлова, 2008; Орлова и др., 2011).

В природе он растёт на песчаных наносах аллювия и бархановидных песчаных холмах, на болотах со сфагновым торфяным покровом и высоко лежащей вечной мерзлотой, на торфяно-подзолистых (суглинистых и глинистых) почвах склонов, наконец, на слабо скелетных почвах горных местообитаний. Особенно типичными местообитаниями для кедрового стланика являются скелетные почвы.

Экологическая гибкость этого вида в большей степени проявляется при смене не географических зон, а экотопических условий конкретного района. Так, некоторые авторы считают его исключительно светолюбивым видом, другие ввиду его способности образовывать большую густоту чистых зарослей и развитие мощного подлеска в лиственничниках – теневыносливым.

Обладает способностью, присущей многим хвойным, образовывать в закрытой базальной части стебля придаточные корни, что обеспечивает ему возможность использовать самые незначительные понижения микрорельефа, наиболее защищённые от неблагоприятного действия ветров. Таким образом, придаточные корни служат средством для своеобразного движения особей кедрового стланика в более благоприятные условия существования. Кроме того, этот вид обладает еще одной интересной особенностью – после наступления морозов его ветви лежат на земле, а весной вновь поднимаются, что является еще одной важной особенностью, обеспечивающей существование его в суровых климатических условиях, где другие древесные породы, а тем более вечнозелёные существовать не могут. При этом в нижней базальной части ствола формируется тяговая древесина, а в верхней – кренивая. В более плотной кренивой древесине воды содержится больше, чем в тяговой, поэтому при замерзании верхние части оснований ветвей расширяются сильнее, обеспечивая полегание кустов.

По морозостойкости *P. pumila* отнесён в USDA зону 1, (предел морозостойкости ниже -45,6° C) (Bannister, Neuner, 2001), что делает его одним из самых холодостойких деревьев из всех известных.

Разнообразие экологических и фитоценологических условий, в которых растёт кедровый стланик, заметно отражается на общем облике его особей. Благодаря исключительной нетребовательности к почвенным условиям, кедровый стланик часто выступает в роли пионера при облесении каменистых склонов, лишенных почвенного

покрова. В условиях лесных ценозов, где кедровый стланик растет в подлеске, он имеет почти прямостоячие, слабо изогнутые стволы (соотношение длины ствола и высоты по вертикали – длина больше высоты на 3,8-23,3%), продолговатые шишки, несколько более крупные чем у экземпляров, растущих вне леса. В условиях субальпийского пояса, а также на безлесных равнинах крайнего севера характер куста *P. pumila* другой: длина стволов превышает высоту на 86-90 %, то есть стволы, фактически, ползучие, а шишки имеют почти шаровидную форму. Часть природного ареала *P. Pumila* находится в зоне вулканической активности.

Глава 5. Семенное размножение *Pinus pumila*

При семенном размножении *Pinus pumila* в условиях Санкт-Петербурга и Ленинградской области были использованы семена, полученные из г. Южно-Сахалинска (сбор в природных условиях южного Сахалина), Карякского заповедника, Паранольского участка (сбор в природных условиях Чукотки), Ботанического сада Петра Великого Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН в Санкт-Петербурге и из коллекции научно-опытной станции Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН «Отрадное».

Семена проращивались как по описанным в литературе методикам, включающим длительную стратификацию, так и с использованием инновационных технологий, включающих использование оригинальных росторегуляторов и методик проращивания семян.

Для проращивания семян использовались различные росторегулирующие вещества: 3-индолил-масляная кислота (ИМК) и α -нафтилуксусная кислота (α -НУК) (Sigma-Aldrich), гуamat натрия (ФАСКО ®), гиббереллиновая кислота (GA3) (Zhengzhou Farm-Reaching Biochemical CO), оригинальные много-компонентные препараты АВ-7 и N-8В, разработанные в рамках исследования процессов адаптации лиственных и хвойных пород деревьев в арктических и субарктических природно-климатических зонах по заданию Департамента по науке и инновациям ЯНАО (государственный контракт № 01-15/4 от 25 июля 2012 г). Их разработка и испытания проводились в 2012–2017 гг. Препарат АВ-7 представляет собой раствор калиевых солей ряда аминокислот, витаминов, росторегуляторов, содержит микроэлементы. Препарат N-8В в своем составе имеет оригинальный продукт 3-(6-амино-3Н-пурин-3-ил)-пропан-1,2-диол, синтезированный по методике [6], а так же ряд витаминов, аминокислот и других БАВ. При определении полнотности семян использовался метод рентгенографии (Архипов и др., 2013).

Для изучения семенного размножения *Pinus pumila* был поставлены опыты с семенами как из мест естественного произрастания, так и собранными в Ботаническом саду Петра Великого, НОС «Отрадное» БИН РАН, Верхнем дендросаду СПб ГЛТУ,

городских посадках в г.Кировске, посадках на берегу оз. Глубокого (Выборгский район Ленинградской области). Кроме собственно результатов всхожести, была изучена также динамика прорастания семян *Pinus pumila*. Для выяснения достоверности различий полученных данных результаты эксперимента по влиянию предпосевной обработки семян на грунтовую всхожесть *Pinus pumila* были подвергнуты статистической обработке с помощью однофакторного дисперсионного анализа (one-way ANOVA). Результаты однофакторного дисперсионного анализа выявили значительное влияние использования оригинальных регуляторов прорастания семян на грунтовую всхожесть *Pinus pumila*.

Отработка новых методик размножения с использованием новых росторегуляторов шла так же на малораспространенных видах для Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Таких как *Pinus sibirica*, *Abies gracilis*, *Ginkgo Biloba*, *Platycladus orientalis* и *Thuja sutchuenensis*. Результаты эксперимента выявили значительное влияние использования оригинальных регуляторов прорастания семян на грунтовую всхожесть исследуемых видов.

В результате проведенных исследований разработана методика семенного размножения *Pinus pumila* с использованием оригинальных регуляторов прорастания семян. Это предельно упрощает технологию выращивания не только *Pinus pumila* из семян, но и некоторых других видов голосеменных: не требуется длительная стратификация семян, исключены потери семян при осеннем посеве вследствие поедания семян грызунами и птицами. Этот способ выращивания перспективен для питомников декоративных растений в озеленении и возможно, в рекультивации земель и лесоводстве, и когда имеется ограниченное количество семян – для посева.

Глава 6. Вегетативное размножение *Pinus pumila*

В результате проведенных исследований были поставлены опыты по вегетативному размножению *Pinus pumila* с применением различных росторегуляторов.

При вегетативном размножении черенками использовались оригинальные стимуляторы корнеобразования: росторегулирующая система S-5, содержащая в 1 литре раствора: 3-индолилмасляная кислота (ИМК) – 50 мг; D,L-глутаминовая кислота (Glu) – 167 мг; D,L-аспарагиновая кислота (Asp) – 233 мг; L-аланин (Ala) – 167 мг; β-аминомасляная кислота (Abu) – 67 мг; L-лейцин (Leu) – 67 мг; L-тирозин (Tyr) – 67 мг; глицин (Gly) – 0,4 г; γ-аминомасляная кислота – 67 мг; D-глюкоза – 3 г. Первоначально эта система была разработана для укоренения черенков голосемянных растений [18; 19]. Система S-12A является усовершенствованной и дополненной версией системы S-5 и системы S-8A, ранее использованной для размножения растений *in vitro* (Кириллов, Трофимук 2016). Система S-12A представляет собой раствор, содержащий активные

компоненты в следующих концентрациях: основной стимулятор корнеобразования: 0,005–0,01 %, регуляторы корнеобразования, повышающие общую активность системы (активаторы): 0,032–0,048 %, биоэнергетики (пурины): 0,02–0,04 %, антистрессовые вещества: 0,041–0,0425 %, смесь жизненно важных аминокислот: 0,125–0,133 %, питательная среда (смесь сахаров) 0,5 %.

Оригинальный стимулятор корнеобразования в виде пудры O-18full в своём составе имеет стимуляторы корнеобразования (α -нафтилуксусную кислоту (α -НУК), р-аминобензойную кислоту (ПАБК, витамин В10), аскорбиновую кислоту (витамин С) и ряд других биологически активных веществ, таких как, дигидрокверцетин (ДГК). Пудра содержит фуллереновую сажу (FS) с содержанием смеси фуллеренов ≈ 10 %, предоставленную НПК «Современные технологии синтеза» (Санкт-Петербург).

Для искусственного освещения использовался фитосветильник ФитоСветон мощностью 34 Вт. В излучении светильника присутствуют широкие доминанты в коротковолновой части 430–480 нм (синий-голубой) и в длинноволновой частях 630–760 нм (глубокий красный-дальний красный) спектра.

Лучшие результаты показало укоренение *Pinus pumila* с использованием оригинальных стимуляторов корнеобразования включающих ряд биологически активных веществ, содержащих нанокремний в форме фуллеренов C60, высших фуллеренов (HF) и одностенных углеродных нанотрубок (SWCNT).

Так же были поставлены опыты по осенней прививке *Pinus pumila*. В качестве подвоев использовались *Pinus cembra* и *Pinus sibirica*. Оба опыта дали хороший результат и приживаемость прививки составила более 70%. В начале июля 2020 г. поставлен первый эксперимент по летней прививке *Pinus pumila* зелеными черенками с использованием в качестве подвоя прирост этого года у *Pinus cembra*. Пока результат положительный. Окончательно об эффективности этого метода можно будет сказать этой осенью.

В результате опытов по вегетативному размножению была доказана эффективность использования оригинальных росторегуляторов, имеющих в составе различные формы нанокремния. Так же проверена эффективность осенней прививки *Pinus pumila* в приклад сердцевинной на камбий.

Глава 7. Использование *Pinus pumila* в озеленении

В настоящее время *Pinus pumila* в городских зелёных насаждениях Санкт-Петербурга встречается крайне редко, хотя Н. Е. Булыгин с соавторами (1991) отмечали кедровый стланик в городских насаждениях (не только в дендрологических коллекциях), но, к сожалению, точные адреса городских садов и парков, в этой работе не указываются. При повторном обследовании найдены только 2 экземпляра в Парке культуры и отдыха на

Каменном острове и одно растение в Петроградском районе, на улице. Растения высотой 110–115 см, с зелёной хвоей, жизненное состояние по В. А. Алексееву (1989) – 1, растения находятся в вегетативном состоянии. В Ленинградской области наибольшее количество растений *Pinus pumila* высажено на оз. Глубокое Выборгского района - 54 растения. Жизненное состояние большинства растений по В. А. Алексееву (1989) – 1. В г. Кировске у здания администрации (59°52'53.2"N, 30°59'07.1"E) высажена куртина из 20 растений высотой 160-250 см, с зеленой или сизой хвоей, жизненное состояние по В. А. Алексееву (1989) – 1. Так же 9 семеносящих растений есть в г. Тихвине у конторы Тихвинского лесничества. Два растения в городских посадках г. Сланцы. Автором данной работы в мае 2019 г. посажены 2 растения *Pinus pumila* в Ботаническом саду СПб ГУ. Хотя все растения подвержены сильной антропогенной нагрузке, у них наблюдается ежегодное семеношение. Единичные растения можно увидеть на частных участках и питомниках. Таким образом, этот вид по-прежнему почти неизвестен за пределами дендрологических коллекций.

Обследования существующих посадок *Pinus pumila* на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области показали их достаточно хорошее жизненное состояние, не смотря на сильное антропогенное воздействие. По результатам наших исследований, мы рекомендуем *P. pumila* для широкого использования в озеленении и как садовую культуру в Санкт-Петербурге и Ленинградской области.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кедровый стланник (*Pinus pumila* (Pall.) Regel) выращивается в ботанических садах Санкт-Петербурга достоверно в открытом грунте с 1833 г. достигает здесь размеров высокого куста или деревца до 4,68 м высоты и до 12 см в диаметре ствола в возрасте 48 лет. Это вечнозеленое растение, пригодное для одиночных и групповых посадок, в том числе на альпийских горках. В Санкт-Петербурге и Ленинградской области кедровый стланник является крайне редким растением, обладающим высокой декоративностью, дающее съедобные семена. Он прекрасно переносит климат Северо-Запада России, как в условиях прошлых веков с более холодным климатом, так и сейчас. Обследование имеющихся в ботанических садах Санкт-Петербурга экземпляров *Pinus pumila* показало их хорошее состояние, обильное семеношение у отдельных растений. Кедровый стланник образует в Санкт-Петербурге всхожие семена.

В результате экспериментов по семенному размножению *Pinus pumila* разработан новый способ выращивания из семян с использованием регуляторов прорастания семян. (Карамышева и др., 2019). Вид почти неизвестен за пределами дендрологических

коллекций. По результатам наших исследований, мы рекомендуем кедровый стланик для широкого использования в озеленении и как садовую культуру.

В результате опытов по вегетативному размножению была доказана эффективность использования оригинальных стимуляторов корнеобразования включающих ряд биологически активных веществ, содержащих наночастицы углерода в форме фуллеренов C₆₀, высших фуллеренов (HF) и одностенных углеродных нанотрубок (SWCNT). Так же проверена эффективность осенней прививки *Pinus pumila* в приклад сердцевинной на камбий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В. А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев [Diagnostic of vitalstate of trees and treestands] // Лесоведение. 1989. № 4. С.51—57.
2. Архипов М.В., Прияткин Н.С., Бондаренко А.С. Применение методов мягколучевой рентгенографии и газо-разрядной визуализации для оценки качества семян ели европейской // Изв. С.-Петербур. гос. аграрн. ун-та. 2013. № 31. С. 62-66.
3. Бобров Е. Г. Лесообразующие хвойные СССР. [Forest producing conifers of the USSR.] Л., 1978. 188 с.
4. Булыгин Н. Е., Связева О. А., Фирсов Г. А. Дендрологические фонды садов и парков Ленинграда. [Woody funds of parks and gardens of Leningrad.] Л., 1991. 66 с. Деп. в ВИНТИ 28.06.1991, № 2790–В91.
5. Гроссет Г. Э. К изучению экологии кедрового стланика (*Pinus pumila* Rgl.) (Механизм активного полегания при наступлении морозов) [To the study of the ecology of Siberian Dwarf Pine (*Pinus pumila* Rgl.) (Mechanism of active lodging at frost)] // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1959. Т. 64. Вып. 2. С. 95—96.
6. Егоров А.А., Фирсов Г.А., Фадеева И.В., Бялт В.В., Орлова Л.В., Волчанская А.В. Проблемы совершенствования современного ассортимента древесных растений в городских зеленых насаждениях Санкт-Петербурга // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология». 2011. Т.4. №2. С. 23-31.
7. Карамышева А. В., Фирсов Г. А., Трофимук Л. П., Орлова Л. В. Особенности и способы семенного размножения кедрового стланика (*Pinus pumila* (Pall.) Regel, Pinaceae) в Санкт-Петербурге [Peculiarities and methods of seed reproduction of Siberian Dwarf Pine (*Pinus pumila* (Pall.) Regel, Pinaceae) in St. Petersburg] // Вестник Удмурт. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. 2019. Т. 29. Вып. 2. С. 181—189.

8. Кириллов П.С., Трофимук Л.П. Использование нового регулятора роста для микроразмножения некоторых видов рода *Crataegus* // Вестн. СПбГУ. Сер. 3. Биология. 2016. Вып. 4. С. 62-75.
9. Колесников Б. П. Кедровые леса Дальнего Востока. [Cedar forests of the Far East.] М., Л., 1956. 263 с.
10. Комаров В. Л. Флора полуострова Камчатки. [Flora of the Kamchatka Peninsula.] Л.: Изд.Акад. наук СССР, 1927. 339 с.
11. Крашенинников С. П. Описание Земли Камчатки. [Description of Kamchatka Land.] СПб., 1755.Т. 1. 438 с.
12. Липский В. И., Мейсснер К. К. Перечень растений, распространённых в культуре Императорским С.-Петербургским Ботаническим садом [The list of plants common in the culture of the Imperial St. Petersburg Botanical Garden] // Императорский С.-Петербургский Ботанический Сад за 200 лет его существования (1713-1913). Ч. 3. Петроград, 1913-1915. С. 537—560.
13. Малышев Л. И. Ошибочное мнение о произрастании кедрового стланика (*Pinus pumila* (Pall.) Rgl.) в Саянах [Wrong opinion about the growth of Siberian Dwarf Pine wood (*Pinus pumila* (Pall.) Rgl.) in the Sayan Mountains] // Бот. журн. 1960. Т. 45. № 5. С. 737—739.
14. Миддендорф А. Ф. Путешествие на север и восток Сибири. [Journey to the north and east of Siberia.] СПб, 1867. Ч. 1. Отд. IV. Растительность Сибири. С. 491—756.
15. Наконечная О. В., Холина А. Б., Корень О. Г., Janeček V., Kohutka A., Gebauer R., Журавлев Н. [Nakonechnaya O. V., Kholina A. B., Koren O. G., Janeček V., Kohutka A., Gebauer R., Zhuravlev Yu. N.] Характеристика генофондов трех популяций *Pinus pumila* (Pall.) Regel на границах ареала [Characterization of gene pools of three *Pinus pumila* (Pall.) Regel populations at the range margins] // Генетика. [Russian Journal of Genetics.] 2010. Т. 46. № 12. С. 1609—1618. DOI 10.1134/S1022795410120033 .
16. Орлова Л. В. Систематический обзор дикорастущих и некоторых интродуцированных видов рода *Pinus* L. (Pinaceae) флоры России [A systematic review of wild-growing and some introduced species of the genus *Pinus* L. (Pinaceae) of the flora of Russia] // Новости систематики высших растений. Л., 2001. Т. 33. С. 7—40.
17. Орлова Л. В., Фирсов Г. А., Егоров А. А., Неверовский В. Ю. Хвойные Санкт-Петербургской лесотехнической академии (аннотированный каталог). [Coniferous St. Petersburg Forestry Academy (annotated catalog).] СПб.: СПб ГЛТА, 2011. 88 с.

18. Регель Э. Л. Список деревьев и кустарников, произрастающих в Петербурге и его окрестностях. [List of trees and shrubs growing at Saint-Petersburg and its environs.] СПб., 1858. С. 1—12.
19. Регель Э. Л. Русская дендрология или перечисление и описание древесных пород и многолетних вьющихся растений, выносящих климат Средней России на воздухе, их разведение, достоинство, употребление в садах, в технике и проч. Вып. 1. [Russian dendrology or enumeration and description of tree species and perennial climbers that endure the climate of Central Russia in the air, their breeding, dignity, use in gardens, in technology and so on. Issue 1.] Хвойныя. Coniferae. СПб., 1870. С. 1—32.
20. Связева О. А., Лукс Ю. А., Латманисова Т. М. Интродукционный питомник Ботанического института им. В. Л. Комарова на северо-востоке Карельского перешейка (Ленинградская область). СПб.: Росток, 2011. 343 с.
21. Серебряков И. Г. Экологическая морфология растений. [Ecological morphology of plants.] М.:Наука, 1962. 378 с.
22. Сукачев В. Н. Растительность верхней части бассейна р. Тунгира Олекминского округа, Якутской области. Фитосоциол. очерк [Vegetation of the upper part of the basin. Tungir Olekminsky district, Yakutsk region. Phytosociol. feature article] // Тр. Амурск. экспед. СПб., 1912. Вып. 16. Т. 1. 286 с.
23. Тихомиров Б. А. Кедровый стланик, его биология и использование. [Dwarf Siberian cedar, its biology and use.] М., 1949. 106 с.
24. Фирсов Г. А., Орлова Л. В. Хвойные в Санкт-Петербурге. [Conifers in St. Petersburg.] СПб.:ООО «Издательство «Росток», 2008. 336 с.
25. Bannister P., Neuner G. Frost resistance and the distribution of conifers // F. J. Bigras and S. J. Colombo (eds.). Conifer cold hardiness. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. P. 3—22.
26. Gaussen H. Les gymnospermes actuelles et fossiles. Partie 2/1. Fasc. 6. Chapitre 11. Pinus // Trav. Lab. forest. (Toulouse). 1960. T. 2. Vol. 1. P. 1—272.
27. Gugerli F., Senn J., Anzidei M., Madaghiele A., Büchler U., Sperisen C., Vendramin G. Chloroplast microsatellites and mitochondrial nad1 intron 2 sequences indicate congruent phylogenetic relationships among Swiss stone pine (*Pinus cembra*), Siberian stone pine (*Pinus sibirica*), and Siberian dwarf pine (*Pinus pumila*) // Mol. Ecol. 2001. Vol. 10. № 6. P. 1489—1497.
28. Hillier J., Coombes A. (Consultant Editors). The Hillier Manual of Trees and Shrubs. David and Charles. Newton Abbot, Devon, England. 2003. 512 p.

29. Jia Y., Zhu J., Wu Y., Fan W. B., Zhao G. F., Li Z. H. Effects of Geological and Environmental Events on the Diversity and Genetic Divergence of Four Closely Related Pines: *Pinus koraiensis*, *P. armandii*, *P. griffithii* and *P. pumila* // *Front Plant Sci.* 2018 Aug 28; 9 : 1264. DOI: 10.3389/fpls.2018.01264 . eCollection 2018.
30. Little E. L., Critchfield W. B. Subdivisions of the genus *Pinus* (Pines) // U. S. Dep. Agr. Forest Serv. Misc. Publ. 1969. N 1144. 51 p.
31. Landry P. Les sous-genres et les sections du genre *Pinus* // *Le Nat. Canad.* 1974. Vol. 101. № 5. P. 769—779.
32. Mirov N. T. The genus *Pinus*. New York, The Ronald Press Company, 1967. 602 p.
33. Pilger R. Von Pinaceae // In Engler, K. Prantl. Die natürlichen Pflanzenfamilien. 2 Aufl. Leipzig: Wilhelm Engelmann, 1926. Bd. 13. P. 271—342.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

В тексте приняты следующие сокращения: *P.* - *Pinus*, БИН – Ботанический сад Петра Великого Ботанического института имени В. Л. Комарова РАН, выс. – высота, дл. – длина, ЛТУ - Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет, НОС – научно-опытная станция, н.у.м. – над уровнем моря, п-ов – полуостров, пос. – посёлок, СПб ГУ – Санкт-Петербургский государственный университет, уч. – участок, шир. – ширина, экз. – экземпляр.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АСПИРАНТОМ ПО ТЕМЕ НКР

1. Карамышева А.В., Трофимук Л.П., Прияткин Н.С., Архипов М.В., Гусакова Л.П., Потрахов Н.Н., Бессонов В.Б., Щукин П.А. Исследование полнотелности семян *Platycladus orientalis* и *Thuja sutchuenensis* методом микрофокусной рентгенографии для прогноза их посевных качеств // Растительные ресурсы. Т. 55, № 4. 2019. С. 501-515. DOI: 10.1134/S0033994619040058
2. Karamysheva A., Trofimuk L., Priyatkin N., Arkhipov M., Shchukina P., «Comparative characteristics and germination of *Pinus sibirica* seeds collected from places of natural growth and in the St. Petersburg's Botanical garden of Peter the Great». IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, (Scopus), 316 (2019) 012017. С. 1-9. DOI:10.1088/1755-1315/316/1/012017
3. Карамышева А.В., Фирсов Г.А., Трофимук Л.П., Орлова Л.В. Особенности и способы семенного размножения кедрового стланика (*Pinus pumila* (Pall.) Regel, Pinaceae) в Санкт-Петербурге // Вестник Удмуртского университета. Серия биология. Науки о земле. 2019. Т. 29. Вып. 2. С. 181-189. DOI: 10.35634/2412-9518-2019-29-2-181-189
4. Орлова Л. В., Фирсов Г. А., Трофимук Л. П., Карамышева А. В. Кедровый стланик (*Pinus pumila* (Pall.) Regel, Pinaceae) – история изучения, современное состояние в ботанических садах Санкт-Петербурга и перспективы его использования в озеленении на Северо-Западе России // Hortus bot. 2019. Т. 14. С. 73 - 93, URL:<http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=6445>. DOI: 10.15393/j4.art.2019.6445
5. Орлова Л. В., Фирсов Г. А., Трофимук Л. П., Карамышева А. В. Пихта грациозная (*Abies gracilis* Kom., Pinaceae) в Санкт-Петербурге и Ленинградской области: история интродукции, биологические особенности и способы ее размножения // Hortus bot. 2020. Т. 15. С. 52 – 76. URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=7045>. DOI: 10.15393/j4.art.2020.7045
6. Карамышева А.В., Трофимук Л.П., Прияткин Н.С. Рентгенографический метод выявления скрытых дефектов экогенного происхождения семян древесных растений // Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения: сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Развитие агропромышленного комплекса на основе современных научных достижений и цифровых технологий». – Ч. I / СПбГАУ.– СПб., 2020. С. 28-30.
7. Архипов М.В., Прияткин Н.С., Гусакова Л.П., Карамышева А.В., Трофимук Л.П., Потрахов Н.Н., Бессонов В.Б., Щукина П.А. Методика микрофокусной рентгенографии для выявления скрытой дефектности семян древесных лесных пород и других видов

сосудистых растений //Техническая физика. 2020. Т. 90. Вып. 2. С. 334-346. DOI: 10.21883/ТТФ.2020.02.48830.178-19

8. Трофимук Л.П., Фирсов Г. А., Карамышева А.В. *Ginkgo Biloba L.* (Ginkgoaceae) в Ботаническом Саду Петра Великого БИН РАН // Вестник Удмуртского университета. Серия биология. Науки о Земле. 2020. Т. 30. Вып. 2. С. 131 – 140. DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-2-131-140