

Десять лет группе биохимии и биотехнологии растений Амурского филиала Ботанического сада-института ДВО РАН

© Э.В. Некрасов

Амурский филиал Ботанического сада-института ДВО РАН, Благовещенск, Россия
E-mail: ed_nekrasov@mail.ru

В статье представлены результаты работы группы биохимии и биотехнологии растений Амурского филиала Ботанического сада-института ДВО РАН (г. Благовещенск, Амурская область) за десять лет. Среди достижений выделены: создание коллекции культур тканей и клонирование *in vitro* хозяйственно значимых растений (сорта и отборные формы абрикоса и сливы дальневосточной селекции) и редких растений из федеральной и региональных Красных книг (абрикос маньчжурский, бразения Шребера, шесть видов папоротников), испытание клонированных растений в условиях открытого грунта, исследования жирных кислот дальневосточных папоротников, описание сообщества микроскопических грибов, колонизирующих побеги абрикоса маньчжурского. Коллекция *in vitro* включает 10 видов природной флоры, 11 сортов и культурных форм. Из них 12 таксонов высажены в открытый грунт. Уровень научной квалификации сотрудников повышается за счет обучения в аспирантуре. Обсуждаются перспективы дальнейшего развития группы.

Ключевые слова: бразения, косточковые культуры, папоротники, редкие и исчезающие растения, рододендрон, роза, клональное микроразмножение, сохранение *in vitro*, липиды, микромицеты.

Необходимость развития биохимии и биотехнологии растений в Амурской области продиктована природными особенностями, экономикой региона и удаленностью от крупных профильных научных центров. Амурская область имеет специфичный видовой состав растений, поскольку находится на границе Циркумбореальной и Восточноазиатской флористических областей (Starchenko, 2008). Многие виды растений региона находятся на границе своего ареала, что может отражаться на их физиологии и биохимии. С этим связана специфика видового состава редких и исчезающих видов: среди редких растений преобладают восточноазиатские виды (Starchenko, 2008). С другой стороны, Амурская область является крупнейшим сельскохозяйственным регионом Дальнего Востока с преобладанием растениеводства (Reimer et al., 2021). Ближайшие крупные научные центры, где проводят исследования по биохимии и биотехнологии растений, расположены в Иркутске (Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения РАН), Владивостоке (Тихоокеанский институт биорганической химии Дальневосточного отделения РАН и Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН) и Уссурийске (Федеральный научный центр агробио-

технологий Дальнего Востока). В Амурской области в начале 2010-х годов биохимические исследования были сосредоточены на главной сельскохозяйственной культуре области — сое — и проводились в Благовещенском государственном педагогическом университете (Ivachenko, 2011). Несмотря на присутствие в регионе таких крупных аграрных центров образования и науки, как Дальневосточный государственный аграрный университет (ДальГАУ) и Всероссийский научно-исследовательский институт сои, клональным микроразмножением растений в Амурской области в то время никто не занимался. Тем удивительнее, что приоритет в реализации этого направления в регионе принадлежит маленькому научному подразделению — Амурскому филиалу Ботанического сада-института Дальневосточного отделения Российской академии наук (АФ БСИ).

Предложение заняться клональным микроразмножением растений я получил вместе с приглашением работать в АФ БСИ от директора филиала к.б.н. О.В. Жилина и в то время заместителя директора по научной работе к.б.н. Т.А. Поляковой. Новое направление меня заинтересовало и в 2012 г. я приступил к работе. К тому времени работы с культурами растений *in vitro* уже имели продолжительную историю в крупных российских ботанических садах —

Рисунок 1. Группа биохимии и биотехнологии растений Амурского филиала Ботанического сада-института ДВО РАН (декабрь 2025 г.). Слева направо: Е.Э. Каботов, Л.А. Шелихан, Э.В. Некрасов, Л.П. Шумилова.

Figure 1. The plant biochemistry and biotechnology group of the Amur Branch of the Botanical Garden-Institute FEB RAS (December 2025). From left to right: E.E. Kabotov, L.A. Shelikhan, E.V. Nekrasov, L.P. Shumilova.



Главном ботаническом саду им. Н.В. Цицина РАН в Москве (Molkanova et al., 2020; GBS, 2025), Центральном сибирском ботаническом саду СО РАН в Новосибирске (Novikova et al., 2008; CSBG, 2025), и активно развивались в менее крупных ботанических садах, например, Волгоградском региональном ботаническом саду (Malaeva et al., 2008). В 2012 г. была организована лаборатория биотехнологии растений в Ботаническом саде-институте ДВО РАН (БСИ ДВО РАН, г. Владивосток) под руководством к.б.н. Е.В. Болтенкова (Krestov, 2014). Культивирование растений *in vitro* в ботанических садах проводят с целью сохранения и размножения редких и эндемичных растений, хозяйственно ценных видов и сортов, получения новых линий, создания банка культур тканей (Malaeva et al., 2008; Novikova et al., 2008; Novikova, 2013; Molkanova et al., 2020). Этими же целями руководствовались в Амурском филиале БСИ при организации нового направления.

В 2012 г. Амурский филиал еще не располагал необходимыми помещениями и оборудованием для проведения таких работ. Руководство филиала находило средства на создание материальной базы для нового направления: начиная с 2012 г. приобретали реактивы и регуляторы роста растений, базовое оборудование, выделили помещения и постепенно делали в них ремонт. Дорогостоящее оборудование (ламинарный шкаф, климатическая камера, бидистиллятор, паровой стерилизатор) получили в рамках программы развития материально-технической базы Дальневосточного отделения РАН. К 2020 г. лаборатория для работы с культурами растений *in vitro* была укомплектована и с этого года все работы проводили уже в ней. Также были подготовлены лабораторные помещения для биохимических исследований.

Первые эксперименты были начаты в дружественной лаборатории биогеохимии Института гео-

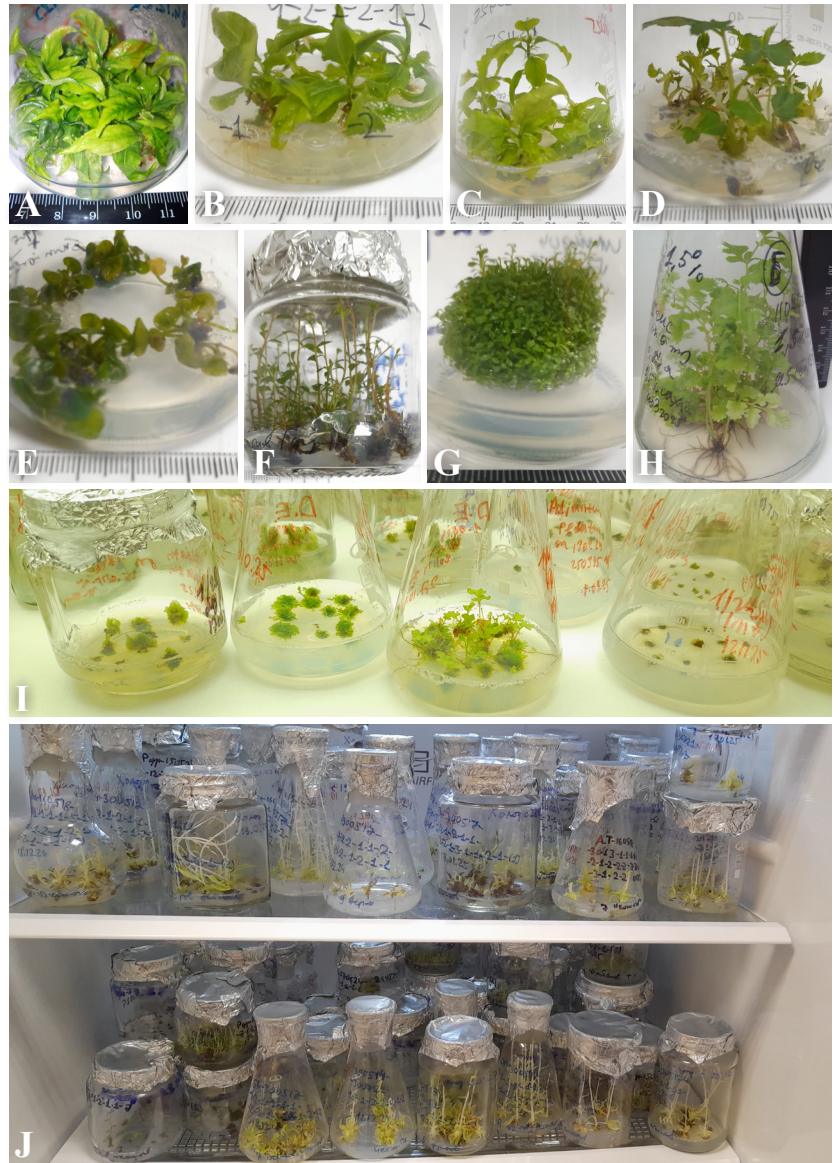
логии и природопользования ДВО РАН (ИГиП ДВО РАН, директор д.г.-м.н. А.А. Сорокин) по договору между организациями. Заведующая лабораторией к.б.н. Л.М. Павлова любезно выделила стол и разрешила пользоваться оборудованием и реактивами лаборатории. Этот стол несколько лет служил одновременно и местом для приготовления питательных сред, для манипуляций с культурами растений и местом их выращивания. Тогда же ученый секретарь АФ БСИ к.б.н. Н.Г. Куимова порекомендовала в помощь свою аспирантку, сотрудницу лаборатории, теперь кандидата биологических наук, Людмилу Павловну Шумилову.

Собственно группа биохимии и биотехнологии растений была образована в 2015 г. приказом директора, когда к нам присоединилась выпускница Благовещенского государственного педагогического института Людмила Александровна Шелихан по рекомендации её преподавателя к.б.н. Т.В. Ступниковой. В таком составе наша группа работала десять лет и уже в конце 2025 г. группа пополнилась бывшим аспирантом Л.П. Шумиловой Евгением Эдуардовичем Каботовым (Рис. 1).

В приказе от 31 июля 2015 г. были сформированы основные направления научных исследований группы — сохранение генофонда редких и исчезающих видов растений *in vitro*; размножение хозяйственно ценных и лекарственных растений методами культуры клеток и тканей; физиологические и биохимические исследования особенностей дальневосточных видов растений — и перечислены прикладные аспекты — создание коллекции клеточных культур редких, исчезающих, декоративных, хозяйственно ценных и лекарственных растений; исследование ресурсного потенциала растений дальневосточной флоры; получение культур клеток и тканей растений-продуцентов биологически активных веществ.

Рисунок 2. Растения *in vitro*: слива, размножение побегов (А); слива, укоренение побегов (В); абрикос (С); роза ‘Pink Floyd’ (D); *Brasenia schreberi* (E); *Vaccinium corymbosum* ‘Denise Blue’ (F); *Rhododendron dauricum* (G); *Matteuccia struthiopteris* (H); коллекция папоротников (I); хранение культур растений при пониженной температуре (J).

Figure 2. Plants *in vitro*: plum, shoot multiplication (A); plum, shoot rooting (B); apricot (C); rose ‘Pink Floyd’ (D); *Brasenia schreberi* (E); *Vaccinium corymbosum* ‘Denise Blue’ (F); *Rhododendron dauricum* (G); *Matteuccia struthiopteris* (H); fern collection (I); storage of plant tissue cultures under cold conditions (J).



В этой статье представлен обзор направлений работы группы биохимии и биотехнологии растений и подведены итоги за прошедший период.

Клональное микроразмножение растений

В настоящее время коллекция растений в культуре *in vitro* представлена 10 видами природной флоры, 11 сортами и культурными формами (Табл., Рис. 2). Как видно из таблицы, растения включают плодово-ягодные и декоративные деревья и кустарники (абрикос, слива, роза, голубика), растения местной

Таблица. Перечень растений, культивируемых в условиях *in vitro*, в Амурском филиале Ботанического сада-института ДВО РАН

Table. A list of plants cultivated *in vitro* in Amur Branch of Botanical Garden-Institute FEB RAS

№	Семейство Family	Вид / сорт / отборная форма Species / cultivar / form	Категория редкости в Красной книге The Red List category	Место сбора / откуда получен об- разец Collection site / sample origin	Тип эксплантов Type of explants	Год введе- ния в культуру <i>in vitro</i> Year of culture initiation	Хранение при низкой темпера- туре Low temperature storage	Выращивание регенерирован- ных растений в открытом грунте Growing regener- ated plants in the field
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Папоротники Ferns								
1	Aspleniaceae	<i>Asplenium incisum</i> Thunb.	КК АО ¹ – 2 а	АФ БСИ ¹	споры spores	2022	нет no	да yes
2	Dryopteridaceae	<i>Dryopteris erythrosora</i> (D.C.Eaton) Kuntze	–	БС ЛУ	споры spores	2024	нет no	нет no
3	Dryopteridaceae	<i>Dryopteris sichotensis</i> Kom.	КК АО – 2 а	АФ БСИ	споры spores	2023	нет no	нет no
4	Dryopteridaceae	<i>Polystichum craspedoso- rum</i> (Maxim.) Diels	КК АО – 1	АО БР	споры spores	2018	нет no	да yes

Таблица. Продолжение
Table. Continues

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	Onocleaceae	<i>Matteuccia struthiopteris</i> (L.) Tod.	–	ЦБС НАНБ	споры spores	2018	нет no	да yes
6	Pteridaceae	<i>Adiantum pedatum</i> L.	КК СО – 3	АФ БСИ	споры spores	2024	нет no	нет no
7	Sinopteridaceae	<i>Hemionitis kuhnii</i> (Milde) Christenh. (<i>Aleuritopteris kuhnii</i> (Milde) Ching)	КК РФ – 3 КК АО – 1	БСИ ДВО РАН	споры spores	2020	нет no	да yes
8	Woodsiaceae	<i>Woodsia polystichoides</i> D.C. Eaton	КК АО – 2 a	АФ БСИ	споры spores	2023	нет no	нет no
Покрытосеменные Angiosperms								
9	Cabombaceae	<i>Brasenia schreberi</i> J.F. Gmel.	КК РФ – 1 КК АО – 1	АО ИР	верхушки побегов shoot tips	2015	нет no	нет no
10	Ericaceae	<i>Rhododendron dauricum</i> L. f. rosea	–	АФ БСИ	растущие побеги growing shoots	2024	в процессе испытания currently testing	нет no
11	Ericaceae	<i>Vaccinium corymbosum</i> L. 'Denise Blue'	–	ПЧ	верхушка микропобега a tip of a microshoot	2024	в процессе испытания currently testing	нет no
12	Rosaceae	<i>Prunus armeniaca</i> L. 'Титан'	–	ДальНИИ-ИСХ	растущие побеги growing shoots	2018	да yes	да yes
13	Rosaceae	<i>Prunus armeniaca</i> L. 'Хабаровский'	–	ДальНИИ-ИСХ	растущие побеги growing shoots	2018	да yes	да yes
14	Rosaceae	<i>Prunus mandshurica</i> (Maxim.) Koehne	КК РФ – 3	БПП	растущие побеги growing shoots	2014	да yes	да yes
15	Rosaceae	<i>P. mandshurica</i> (абрикос Колдаевой 1)	–	ЧКК	распускающиеся боковые почки sprouting lateral buds	2025	в процессе испытания currently testing	нет no
16	Rosaceae	<i>Prunus</i> sp. (абрикос Колдаевой 2)	–	ЧКК	распускающиеся боковые почки sprouting lateral buds	2025	в процессе испытания currently testing	нет no
17	Rosaceae	<i>Prunus salicina</i> Lindl. (неустановленный сорт)	–	АФ БСИ	растущие побеги growing shoots	2016	да yes	да yes
18	Rosaceae	<i>P. salicina</i> 'Людмила'	–	ДальГАУ	растущие побеги growing shoots	2017	да yes	да yes
19	Rosaceae	<i>P. salicina</i> 'Оранжевая ранняя'	–	ДальГАУ	растущие побеги growing shoots	2017	да yes	да yes
20	Rosaceae	<i>P. salicina</i> 'Благовещенский чернослив'	–	ДальГАУ	растущие побеги growing shoots	2017	да yes	да yes
21	Rosaceae	Чайно-гибридная роза 'Pink Floyd'	–	ТРС	растущие побеги growing shoots	2016	да yes	да yes

Сокращения: АО БР — Амурская область, Бурейский район, урочище Сухие протоки; АО ИР — Амурская обл., Ивановский район, с. Берёзовка, оз. 1-е Камышовое; АФ БСИ — Амурский филиал Ботанического сада-института Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Благовещенск; БПП — Благовещенский плодopитомник, Амурская область, г. Благовещенск, пос. Плодopитомник; БСИ ДВО РАН — Ботанический сад-институт Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток; БС ЛУ — Ботанический сад Лейпцигского университета, г. Лейпциг, Германия; ДальГАУ — Дальневосточный государственный аграрный университет, г. Благовещенск; ДальНИИИСХ — Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства, г. Хабаровск; КК АО — Красная книга Амурской области (Senchik, Malikova, 2020); КК РФ — Красная книга Российской Федерации (Geltman, 2024); КК СО — Красная книга Сахалинской области (Eremin, Taran, 2019); ПЧ — Питомник Черновых (Фермерское хозяйство «Чернова В.А.»), Гомельская обл., Республика Беларусь; ТРС — торговая розничная сеть, г. Благовещенск; ЧКК — частная коллекция М.Н. Колдаевой, г. Владивосток; ЦБС НАНБ — Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь.

Abbreviations: АО БР — Amur Oblast, Bureysky District, urochishche Sukhie protoki; АО ИР — Amur Oblast, Ivanovsky District, selo Berezovka, lake 1st Kamyshovoe; АФ БСИ — Amur Branch of Botanical Garden-Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Blagoveshchensk, Amur Oblast; БПП — Blagoveshchensk fruit nursery, settlement Plodopitomnik, Blagoveshchensk, Amur Oblast; БСИ ДВО РАН — Botanical Garden-Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok; БС ЛУ — Leipzig Botanical Garden, Leipzig, Germany; ДальГАУ — Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk, Amur Oblast; ДальНИИИСХ — Far Eastern Agricultural Research Institute, Khabarovsk; КК АО — The Red Data Book of the Amur Region (Senchik, Malikova, 2020); КК РФ — The Red Data Book of the Russian Federation (Geltman, 2024); КК СО — The Red Data Book of the Sakhalin Region (Eremin, Taran, 2019); ПЧ — Chernovs' nursery, Gomel Region, Republic of Belarus; ТРС — a retail trade network, Blagoveshchensk; ЧКК — M.N. Koldaeva's private collection, Vladivostok; ЦБС НАНБ — Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus.

флоры (водное растение бразения Шребера, рододендрон даурский), существенная часть представлена папоротниками (восемь видов). Семь видов растений занесены в Красные книги Российской Федерации (Geltman, 2024), Амурской (Senchik, Malikova, 2020) и Сахалинской (Eremin, Taran, 2019) областей.

Клональное микроразмножение растений направлено в первую очередь на массовое получение посадочного материала. Поскольку такой способ размножения является вегетативным, а полученные саженцы генетически идентичны маточным растениям, то он подходит для размножения и сохранения в культуре *in vitro* сортов и ценных форм. Именно этому посвящена большая часть работы группы, начиная с первых экспериментов. Амурский филиал расположен в непосредственной близости от территории бывшего Благовещенского плодпитомника, где до сих пор сохранились посадки культурных растений. При обследовании посадок ботаниками АФ БСИ (д.б.н. В.М. Старченко, Г.Ф. Дарман) выяснилось, что в плодпитомнике произрастает абрикос маньчжурский (*Prunus mandshurica* (Maxim.) Koehne syn. *Armeniaca mandshurica* (Maxim.) Skvortsov). Абрикос маньчжурский внесен в Красную книгу РФ (Geltman, 2024), однако его природные популяции ограничены югом Приморского края. Популяция в Благовещенске ведет свое происхождение от амурского садовода И.А. Ефремова, который выписал семена культурных сортов абрикоса из Северной Маньчжурии в начале 20-го века (Kazmin, 1973). В Благовещенском плодпитомнике абрикос культивировали с конца 60-х годов. До сих пор существуют деревья тех первых посадок, они цветут и плодоносят, а популяция способна воспроизводиться путем семенного размножения, что подтверждается появлением сеянцев за пределами исходных посадок. Бывшая территория плодпитомника запланирована под жилую застройку, поэтому поиск и сохранение хозяйственно ценных форм абрикоса представлялись важными направлениями. Первые попытки введения в культуру абрикоса маньчжурского были предприняты в 2013 г., однако были безуспешны. Как показали эти и последующие эксперименты, фаза развития маточного дерева является одним из основных факторов, определяющих возможность последующего роста и развития экпланта. Только с началом следующего вегетационного периода в 2014 г. была отработана методика введения в культуру *in vitro* и размножения микропобегов (Nekrasov et al., 2014). Укоренение таких микропобегов и получение адаптированных саженцев оказались более сложной задачей

(Nekrasov, 2017), решение которой удалось найти в работе с другими представителями рода *Prunus*.

Опыт, полученный на таком сложном объекте, как абрикос маньчжурский, был успешно применен к сливе. В 2016 г. процедура была использована для введения в культуру *in vitro* *Prunus salicina* Lindl. неустановленного сорта. В ходе работы с микропобеговыми сливы была опробована процедура импульсной обработки микропобегов ауксином для их успешного укоренения. Маточного дерева уже не существует, однако оно сохраняется в культуре *in vitro*, как и полученные от него саженцы в открытом грунте. В следующем 2017 г. в коллекцию *in vitro* были включены сливы трех сортов — ‘Благовещенский чернослив’, ‘Людмила’ и ‘Оранжевая ранняя’ (Nekrasov, Shelikhan, 2021). Автором этих сортов была к.с.-х.н. Ф.И. Глинщикова — известный амурский селекционер. Побегов для работы предоставил к.с.-х.н. А.В. Зарицкий (ДальГАУ), который в то время проводил эксперименты по укоренению побегов этих сортов.

В результате обследований деревьев абрикосов в Благовещенском плодпитомнике не удалось выявить особо ценные формы. В большинстве случаев плоды были с выраженной горечью, характерной для абрикоса маньчжурского (Kazmin, 1973), изредка встречались деревья с менее выраженной горечью и кислотностью плодов, и всегда горькими ядрами косточек. Интересно, что имеющийся опыт по поиску ценных форм абрикоса маньчжурского в местах его естественного произрастания тоже не дал положительного результата в долгосрочной перспективе, а полученные из них сорта выпали из сортимента из-за низких вкусовых качеств плодов (Kazmin, 1973).

Дальнейшее наше исследование было направлено на клональное микроразмножение сортов абрикосов дальневосточной селекции. Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства в г. Хабаровске (ДальНИИ-ИСХ) проводит многолетние исследования по селекции сортов абрикоса, в том числе путем скрещивания маньчжурского абрикоса и сортов европейского происхождения (Kazmin, 1973; DV NIISH, 2025). В 2018 г. благодаря заведующему лабораторией плодоводства ДальНИИИСХ к.с.-х.н. О.А. Михайличенко были собраны побеги трех сортов абрикоса: ‘Хабаровский’, ‘Титан’ и ‘Подарок БАМу’. Примечательно, что по крайней мере два сорта (‘Хабаровский’ и ‘Подарок БАМу’) имеют в своей родословной сорт ‘Лучший мичуринский’, который получил И.В. Мичурин из посева семян, присланных ему упоминавшимся выше садово-

дом И. А. Ефремовым от саженцев маньчжурского абрикоса (Kazmin, 1973; Apricot Podarok, 2025).

Из всех эксплантов сорта ‘Титан’ (60 шт.), использованных в работе, только один стал родоначальником имеющейся в коллекции культуры этого сорта, которая по числу полученных побегов превзошла даже изначально более жизнеспособные экспланты сорта ‘Хабаровский’. По этому показателю культура вполне соответствовала названию сорта. А вот ‘Подарок БАМу’ в наших условиях не случился — культура выпала при дальнейшем выращивании в условиях *in vitro*, а единственный саженец, полученный клонированием, не перезимовал при выращивании в контейнере. В любом случае, это была первая попытка клонального микроразмножения сортовых абрикосов дальневосточной селекции и получения из них корнесобственных растений.

Пополнение коллекции растений *in vitro* новыми формами абрикоса продолжается. В этом году старший научный сотрудник БСИ ДВО РАН к.б.н. М.Н. Колдаева передала черенки имеющихся у неё форм абрикоса, из них две формы были успешно введены в культуру *in vitro*: одна декоративная форма с признаками маньчжурского абрикоса, другая — с отличающимся габитусом кроны и плодами с хорошими вкусовыми качествами, которая может быть использована для создания сорта (Табл., абрикосы Колдаевой 1 и 2 соответственно, Рис. 2 С).

Из семейства Rosaceae, кроме абрикоса и сливы, в коллекции *in vitro* АФ БСИ есть микрорастения розы, полученные из коммерческих срезанных цветов еще в первые годы существования группы (Табл.). Эта работа имела скорее практическое значение (Nekrasov, Shelikhan, 2023) и оказалась особенно привлекательна для журналистов, когда они узнали, что «розы из пробирики» (FEB RAS, 2018; DV Uchenyi, 2018; Voroshilova, 2023). Стоит добавить, что несколько других попыток клонировать розы из срезанных цветов, приобретенных в розничных торговых сетях, не увенчались успехом: исходный растительный материал обычно был сильно инфицирован микроорганизмами, а экспланты оказались нежизнеспособны.

Использование метода клонального микроразмножения для сохранения редких и исчезающих растений ограничено возможностью сохранения их биоразнообразия. Поскольку этот метод предполагает генетическую идентичность маточного растения и полученных от него потомков, он уступает семенному размножению, при котором генетическое разнообразие выше за счет перекрестно-

го опыления. Однако не для всех видов возможно долгосрочное хранение семян, как и получение самих семян. К таким видам относится редкое для Амурской области водное растение бразения Шребера (*Brasenia schreberi* J.F. Gmel.) (Senchik, Malikova, 2020). Для прорастания семени требуют скарификации (Oh et al., 2008), а в условиях Амурской области семена могут не вызреть. Так как растение хорошо размножается вегетативно, то размножение *in vitro* представлялось перспективным методом. В единственной публикации, где описывали размножение бразении в условиях *in vitro*, вызывали соматический эмбриогенез в каллусной ткани, полученной из эмбрионов (Oh et al., 2008). При этом авторы работы указывали, что не смогли получить каллус из вегетативных органов (листья, черешки, стебель, корни). В конце июля 2014 г. вместе с В.М. Старченко и Г.Ф. Дарман был собран растительный материал из озера в Ивановском районе, включая вегетативные части и зачаточные семена, и предпринята попытка введения в культуру *in vitro*. Зачаточные семена не проявили какой-либо способности к росту, большинство эксплантов из вегетативных частей были инфицированы, и только у одного экспланта наблюдали рост листообразных выростов. Этот образец оставался живым еще несколько лет, однако получить из него жизнеспособную культуру не удалось.

Следующая попытка была предпринята в 2015 г., которая оказалась сопряженной с другой проблемой — уязвимостью популяций этого редкого растения. На конец того года было запланировано затопление водохранилища Нижне-Бурейской гидроэлектростанции, куда попадало одно из известных местонахождений бразении — озеро близ с. Куликовка Бурейского района, что определило выбор этой популяции для сбора растительного материала. Однако предпринятое сотрудниками Амурского филиала (к.б.н. Я.В. Болотова, Г.Ф. Дарман, автор) обследование озера не выявило растений бразении. Этот пример показывает, насколько важно своевременное сохранение редких растений в коллекции ботанического сада, которым угрожает не только деятельность человека, но и неустойчивое состояние самой популяции.

Позже в том же году побеги бразении были собраны на упоминавшемся выше озере в Ивановском районе, которые и были использованы для сохранения в культуре *in vitro*. На этот раз были испытаны разные способы поверхностной стерилизации, варианты питательной среды и регуляторов роста. Первоначальную инициацию роста меристем наблюдали на всех вариантах питатель-

ных сред, однако рост новых побегов был слабым. Потребовалось еще почти три года подбора питательных сред, прежде чем удалось достичь приемлемого роста и размножения бразении в условиях *in vitro*. В отличие от корейских исследователей в этом случае бразения была размножена путем клонального микроразмножения, а не соматического эмбриогенеза, что может уменьшить риск соматической изменчивости полученных регенерантов. Приобретенный опыт позволил позже аспирантке БСИ ДВО РАН А.С. Пьяновой без существенных трудностей получить культуру бразении из популяции в Приморском крае.

Больших успехов в сохранении редких и исчезающих видов растений достигла Л.А. Шелихан в работе с папоротниками. В Амурском филиале исследования папоротников, в том числе редких видов, проводила научный сотрудник к.б.н. И.А. Крещенок. По её предложению в первых экспериментах мы использовали выводковые почки редкого папоротника *Polystichum craspedosorum* (Maxim.) Diels. Однако такие экспланты оказались либо инфицированы, либо нежизнеспособны в культуре *in vitro*. Поэтому, получив в качестве самостоятельного научного исследования размножение папоротников в условиях *in vitro*, Л.А. Шелихан использовала споры. Этот путь был более долгим, поскольку требовал получения гаметофитов, а затем, в результате полового процесса, спорофитов, однако представлялся и более надежным, так как споры исключают внутреннее заражение в отличие от вегетативных органов. Определенные трудности были связаны с микроскопическими размерами спор, необходимостью освоения техники работы с ними и подбором агента для их поверхностной стерилизации. Первый папоротник, на котором Людмила Александровна отрабатывала технические вопросы, был страусник обыкновенный (*Matteuccia struthiopteris* (L.) Tod.). Её первая публикация (Shelikhan, 2017) как раз показывает сложность выбора стерилизующего агента в работе со спорами, чтобы найти баланс между эффективностью поверхностной стерилизации и жизнеспособностью спор. Следующим видом был вновь редкий *P. craspedosorum*, работа с которым подтвердила преимущества стерилизующего агента, ранее показавшего хорошую эффективность для спор страусника (Shelikhan, 2018). Лимитирующим фактором при размножении папоротников в культуре *in vitro* часто оказывается образование спорофитов, что может занять несколько месяцев или даже более года (Shelikhan, Nekrasov, 2018). Действительно, если получение и размножение гаметофитов в условиях *in vitro* уже

не представляло трудностей, то в первоначальных экспериментах со страусником и многорядником долгое время не происходило образования спорофитов, что, видимо, было обусловлено недостатком жидкой среды в культуральном сосуде, необходимой для распространения гамет. Поэтому были предприняты попытки получения спорофитов *ex vitro*, т.е. на почвенном субстрате в условиях акклиматизации гаметофитов, при которых проще обеспечить растения каплевой влагой. Тем не менее, культура спорофитов *in vitro* позволяла получать растения в более короткие сроки и, таким образом, обеспечивала более высокую скорость регенерации растений пригодных для акклиматизации (Shelikhan, 2020).

Большим достижением в размножении папоротников стало получение Л.А. Шелихан зеленых глобулярных тел из спорофитов. Зеленые глобулярные тела представляют собой особые структуры с высокой пролиферативной активностью, которые образуются из вегетативных частей спорофита папоротника в культуре *in vitro* и которые способны образовывать новые глобулярные тела или дают начало новому растению (Shelikhan, 2023). Единожды получив спорофит из гаметофитов, теперь стало возможным массово размножать редкие папоротники посредством зеленых глобулярных тел (Shelikhan, 2024, 2025). В настоящее время Л.А. Шелихан обучается в аспирантуре БСИ ДВО РАН по специальности «Ботаника» и работает над диссертацией, посвященной размножению и сохранению папоротников в культуре *in vitro* (научный руководитель Э.В. Некрасов).

Культуры растений *in vitro* очень удобны для обмена растительным материалом. Такой материал свободен от инфекций и вредителей, а потому не требует этапа поверхностной стерилизации эксплантов при введении в культуру, к тому же занимает мало место при транспортировке. Так в 2024 г. наша коллекция пополнилась микрорастением голубики `Денис Блю` (*Vaccinium corymbosum* L.), подаренный представителем Питомника Черновых (Республика Беларусь). В свою очередь в этом году мы передали культуры абрикосов М.Н. Колдаевой в коллекцию *in vitro* БСИ ДВО РАН и получили оттуда культуры хищных растений семейства Droseraceae (не показаны в таблице).

Наконец, культура *Rhododendron dauricum* L. f. *rosea* стала результатом производственной практики студентки ДальГАУ Д.Н. Маковой. Работа с двумя представителями семейства Ericaceae (*V. corymbosum* и *Rh. dauricum*) была начата в один год и дала возможность тестировать различные

питательные среды и регуляторы роста одновременно. В результате удалось четко показать различия в требованиях к pH среды у этих двух видов одного семейства: если микрорастения рододендрона активно росли при pH 5,7 — обычное значение, используемое для микрклонального размножения большинства растений, то голубика начинала развиваться только при pH 5,0. Такая особенность хорошо известна из литературных данных для *V. corymbosum* (Ostrolucka et al., 2007), однако противоречит имеющимся данным для *Rh. dauricum* (Zaytseva, Novikova, 2022).

Необходимо упомянуть о неудавшихся попытках введения в культуру *in vitro*. Кроме описанных выше сорта и формы абрикоса, выпавших в процессе культивирования, три других потенциально ценные формы этого растения, предоставленные коллегами или собранные автором лично, ввести в культуру *in vitro* не удалось. Другими видами были редкое водное растение *Caldesia parnassifolia* (L.) Parl. (2014 г.), узколокальный эндем *Saxifraga korshinskii* Kom. (2015 г.), декоративное растение *Adonis aestivalis* L. с целью получения культуры ткани, продуцирующей астаксантин (2014 г.), лекарственное растение *Cimicifuga dahurica* (Turcz.) Maxim (2014–2016, 2025 гг.), редкое хвойное растение *Taxus cuspidata* Siebold et Zucc. (2017 г.), *Rh. dauricum* f. *alba* (2024 г.), две декоративные формы папоротника *Athyrium niponicum* (Mett.) Hance. Из этих растений наиболее перспективными для клонального микроразмножения являются кальдезия и рододендрон даурский с белой окраской цветков, поэтому имеет смысл повторить эксперименты с учетом опыта, полученного в работах с бразенией Шребера и рододендроном с розовой окраской цветков.

Самой большой неудачей была работа с клопогоном даурским (*C. dahurica*). Виды *Cimicifuga* известны своими лекарственными свойствами (Zhang et al., 2024). В Амурском филиале работы по проращиванию семян клопогона даурского начала заведующая лабораторией интродукции к.б.н. А.Н. Воробьева с коллегами в связи с интересом крупной фармкомпании к возделыванию этого растения. Семена клопогона обладают морфобиологическим типом покоя и для их проращивания требуется двухэтапная стратификация, либо длительная стратификация с большими колебаниями суточных температур (Baskin, Baskin, 1985; Nikolaeva et al., 1985). Неоднородность семян по глубине покоя отмечена для *C. dahurica* (Dulin, 2002), что является причиной недружных всходов. В конце 2012 г. я подключился к этой работе

и первоначально работал с семенами с целью получения проростков, которые можно использовать для введения в культуру *in vitro*. Начиная с 2014 г. было пять попыток введения клопогона в культуру *in vitro*: посредством индукции каллусогенеза с использованием частей проростков и молодых растущих листьев (2014 и 2016 гг.), а также незрелых семян (2016 г.), клонального микроразмножения с использованием частей растущих побегов (2015 г.), клонального микроразмножения и индукции каллусогенеза с использованием побегов на начальной стадии их роста от корневища (2025 г.). Начальные признаки каллусогенеза наблюдали только для молодых листьев, однако позже такая ткань подвергалась некрозу. Единичные случаи слабого роста побегов довольно быстро прекращались. Такое упорство клопогона даурского заслуживает, на мой взгляд, специального исследования.

В 2020 г. были получены каллусные культуры двух сортов яблони с использованием плодоножек в качестве экспланта. Длительное культивирование этих культур (до 5 лет) не привело к соматическому эмбриогенезу и образованию адвентивных побегов, поэтому они были удалены из коллекции.

Таким образом, получение культур *in vitro* для некоторых видов или форм растений становится редким событием, тем ценнее полученные из них культуры тканей. Причинами неудач могут быть внутренняя инфицированность растительного материала или его низкая жизнеспособность в том числе из-за чувствительности ткани к стерилизующим агентам, биологические особенности вида растения, в частности, специфические требования к составу питательной среды и регуляторам роста, фаза развития маточного растения и органа растения, от которой был получен эксплант. К настоящему времени накоплен огромный опыт по введению разных видов растений в культуру *in vitro* и клональному микроразмножению (например, Jain, Haggman, 2007; Jain, Ochatt, 2010; Lambardi et al., 2013) и имеющиеся протоколы служат ценным руководством для конкретного объекта исследования. Например, протокол для сортов обыкновенного абрикоса (PerezTornero, Burgos, 2007) оказался пригодным для абрикоса маньчжурского (Nekrasov, 2017) и дальневосточных сортов слив (Nekrasov, Shelikhan, 2021), тогда как варианты питательных сред, предложенные другими авторами, могли быть неэффективными.

Наиболее критичным этапом при работе с микрорастениями, полученными в культуре ткани, является их адаптация к естественным условиям (Nekrasov, Shelikhan, 2021). В завершение таких ра-



Рисунок 3. Растения, полученные *in vitro*, в открытом грунте или перед высадкой: роза 'Pink Floyd', сентябрь 2024 г. (А); *Brasenia schreberi* перед высадкой в водоем, июнь 2022 г. (В); *Matteuccia struthiopteris*, июнь 2022 г. (С); цветение слив посадки 2021 г., май 2025 г. (D); плодоношение сливы 'Благовещенский чернослив' посадки 2021 г., август 2025 г. (E); цветение *Prunus mandshurica* посадки 2016 г., май 2024 г. (F).

Figure 3. Plants obtained *in vitro* and planted outdoors or before planting: rose 'Pink Floyd', September 2024 (A); *Brasenia schreberi* before planting in a pond, June 2022 (B); *Matteuccia struthiopteris*, June 2022 (C); flowering plum trees planted in 2021, May 2025 (D); a fruiting plum tree 'Blagoveshchenskii chernosliv' planted in 2021, August 2025 (E); flowering *Prunus mandshurica* planted in 2016, May 2024 (F).

бот необходимо проверить жизнеспособность клонированных растений в полевых условиях. В настоящее время, в открытом грунте Амурского филиала произрастают все клонированные растения семейства Rosaceae (*P. mandshurica*, четыре сорта слив, два сорта абрикоса, роза 'Pink Floyd') и четыре вида папоротников (*M. struthiopteris*, *P. craspedosorum*, *H. kuhnii*, *A. incisum*) (Табл., Рис. 3).

Первые саженцы абрикоса маньчжурского высажены в 2016 г., т.е. на второй год после введения в культуру *in vitro*. Из них в живых осталось одно дерево, которое на пятый год после посадки

вступило в стадию плодоношения. Также через два года после начала клонирования высажены саженцы неустановленного сорта *P. salicina*, тогда как первая посадка растений других сортов сливы и абрикоса состоялась на четвертый год после введения в культуру *in vitro*. Первое плодоношение клонированных слив наблюдали на третий год после посадки, но оно было неравномерным среди саженцев. В ходе проведенных наблюдений за высаженными растениями *P. mandshurica* и сортовых слив выявлены фитопатогены и вредители, характерные для культур, растущих поблизости,

однако причины усыхания ветвей и даже главных стволов уже прижившихся саженцев остались неизвестными (Nekrasov, 2024). Массовую высадку клонированных растений розы в открытый грунт выполнили через полтора года после введения в культуру *in vitro* и, несмотря на свои небольшие размеры, они уже цвели в первый сезон. Основная трудность состоит в сохранении растений в зимний период (Nekrasov, Shelikhan, 2023).

Были предприняты две попытки высадки акклиматизированных растений бразилии в природные водоемы — в 2019 и 2022 гг. Однако последующие проверки не выявили растений в местах посадок. Одной из причин гибели может быть отсутствие слизи на побегах полученных растений, которая, как предполагается, предохраняет молодые ткани от растительных обитателей водоемов. Поэтому для высадки растений в естественные условия необходимо получить более крупные экземпляры, способные производить слизь в достаточном количестве. Возможность получения таких экземпляров в тепличных условиях была показана А.С. Пьяновой в БСИ ДВО РАН (г. Владивосток). Фактор конкурентного давления со стороны других водных растений также ограничивает возможность заселения водоемов с устоявшимся биоценозом (Lee et al., 2020).

В 2022 г. были высажены растения *P. craspedosorum* на территории памятника природы «Михайловские столбы» Благовещенского района. В том же году памятник получил статус особо охраняемой природной территории регионального значения, что дает надежду на появление новой популяции этого редкого растения в Амурской области.

Биохимические исследования растений

Хотя «биохимия» стоит на первом месте в названии нашей группы, достижения в этом направлении скромнее, чем в клональном размножении растений. Одно из первых биохимических исследований стало продолжением работы по изучению высокоактивного фермента растительных тканей, фосфолипазы D, в побегах древесных растений в течение вегетационного периода (Nekrasov, Kotelnikova, 2000). При исследовании состава фосфолипидов, которые являются субстратами фосфолипазы D, неожиданностью стало почти полное отсутствие одного из основных фосфолипидов растений — фосфатидилэтаноламина (ФЭ) — в зрелых листьях сирени амурской (*Syringa amurensis* Rupr.) по сравнению с молодыми и старе-

ющими листьями. У другого представителя рода *Syringa* — *S. oblata* Lindl. — ФЭ сохранялся в зрелых листьях как основной фосфолипид (Nekrasov, Kotelnikova, 2015). Скрининг листьев видов рода *Syringa* и некоторых других видов семейства Oleaceae на наличие ФЭ и другого аминокислотного фосфолипида — фосфатидилсерина — показал, что отсутствие этих аминокислотных фосфолипидов в зрелых листьях ограничено только видами подрода *Ligustrina* рода *Syringa* и носит временный характер (Nekrasov, Pshennikova, 2016). Впоследствии выяснилось, что изменения содержания этих фосфолипидов имеют более сложный характер и необходимо многократно увеличить число точек/образцов, чтобы представлять более полную картину изменений и строить предположения. На тот момент для продолжения этой работы не было достаточных ресурсов, а поданный проект в Российский фонд фундаментальных исследований не был поддержан.

В 2018 г. был поддержан другой проект (совместно с ведущим научным сотрудником Национального научного центра морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН д.б.н. В.И. Светашевым и старшим научным сотрудником Дальневосточного научного центра физиологии и патологии дыхания к.б.н. Д.Е. Наумовым) в рамках Комплексной программы фундаментальных исследований Дальневосточного отделения РАН «Дальний Восток» на 2018–2020 гг.: «Глицеролипиды споровых сосудистых растений как носители ценных длинноцепочечных полиненасыщенных жирных кислот: поиск, характеристика, биологическая активность». Поэтому в дальнейшем основное внимание было сосредоточено на папоротниках. Споровые растения, в частности папоротники и хвощи, давно известны как продуценты длинноцепочечных полиненасыщенных жирных кислот (Schlenk, Gellerman, 1965). Эти жирные кислоты играют важную роль в метаболизме человека — омега-6 арахидоновая кислота является предшественником многих эйкозаноидов, синтезируемых в организме и регулирующих различные физиологические функции, в первую очередь, воспалительные процессы (Astudillo et al., 2012), а жирные кислоты семейства омега-3, в частности, эйкозапентаеновая и докозагексаеновая, важны для функционирования нервной системы (Dyall, Michael-Titus, 2008). И если папоротники содержат арахидоновую и эйкозапентаеновую кислоты, то в хвощах эти кислоты отсутствуют, зато присутствуют их аналоги с отсутствующей двойной связью в $\Delta 8$ -положении — сциадоновая и юнипероновая кислоты. В ходе анализа листьев папоротников из разных семейств мы показали, что наблюдаемые изменения состава жирных кис-

лот сильно зависят от фазы развития листа папоротника, а именно наличия сорусов со спорами. Однако главным достижением стало обнаружение в листьях папоротников тех самых сциаденовой и юнипероносовой кислот, присущих хвощам, что добавляет молекулярных связей между этими двумя группами растений (Nekrasov et al., 2019a). Кроме того, в рамках проекта были исследованы особенности распределения жирных кислот по фракциям липидов в гаметофитах и спорофитах страусника обыкновенного (Nekrasov et al., 2019b) и в побегах хвоща полевого (Nekrasov, Svetashev, 2019), биологическая активность фракций липидов из хвоща и папоротника испытана в отношении мононуклеарных клеток человека (Nekrasov, Naumov, 2022), дана оценка дальневосточным съедобным папоротникам как источников длинноцепочечных полиненасыщенных жирных кислот (Nekrasov, Svetashev, 2021).

Полученные результаты по жирным кислотам папоротников ставят новые вопросы: для чего этой группе растений необходимо такое высокое структурное разнообразие жирных кислот, какие функции выполняют жирные кислоты с регулярным и нерегулярным расположением двойных связей, как они связаны между собой биосинтетически (Nekrasov, 2023). С этой целью в рамках государственного задания проводятся более детальные исследования по распределению жирных кислот по классам липидов, их молекулярных видов и возможных путей биосинтеза.

И немного микробиологии...

Работа Л.П. Шумиловой не ограничилась технической помощью в составе группы, наличие специалиста по микроскопическим грибам в команде дало возможность развивать микробиологическое направление, тем более что необходимая для этого база существовала в лаборатории биогеохимии ИГиП ДВО РАН, а найти предмет исследования во взаимоотношениях растений и грибов не представляет больших сложностей. Исследование растительного микробиома началось еще в 2013 г., и первым объектом стал маньчжурский абрикос. С началом введения в культуру *in vitro* абрикоса мы столкнулись с высокой степенью инфицированности эксплантов микроскопическими грибами: в одревесневших молодых побегах инфекционное начало сохранялось даже после жесткой двухэтапной стерилизации растворами спирта и сулемы (Nekrasov et al., 2014). Микробиологические исследования в течение 2013–2015 гг. позволили выделить штаммы микроскопических грибов, характерных для побегов маньчжурского абрикоса (Shumilova,

Nekrasov, 2016). Таксономическую принадлежность большинства штаммов Людмила Павловна определила самостоятельно, однако потребовалось еще несколько лет, прежде чем удалось идентифицировать большую группу штаммов фомоидных грибов. В этом нам помогли коллеги д.б.н. А.В. Александрова из Московского государственного университета (г. Москва) и к.б.н. М.М. Гомжина из Всероссийского научно-исследовательского института защиты растений (ВИЗР, г. Санкт-Петербург). Особенно ценным был вклад М.М. Гомжиной, которая провела детальный молекулярно-генетический анализ 15 штаммов фомоидных грибов, без которого стала бы невозможной публикация по грибам, колонизирующим побеги маньчжурского абрикоса (Nekrasov et al., 2022). Некоторые из этих штаммов были использованы для тестирования их патогенности в отношении абрикоса (Nekrasov et al., 2020) и сои (Shumilova, Kabotov, 2024). Фомоидные грибы рода *Diaporthe* стали темой диссертационной работы аспиранта БСИ ДВО РАН Е.Э. Каботова, научным руководителем которой была Л.П. Шумилова. Микробиологическое исследование с его участием позволило установить возбудителя увядания клонированных саженцев слив в ходе их акклиматизации в лабораторных условиях (Shumilova et al., 2022). Коллекция микромицетов, выделенных из растительного материала, хранится на базе лаборатории биогеохимии ИГиП ДВО РАН, некоторые штаммы дополнили коллекцию ВИЗР (Nekrasov et al., 2022). В будущем микологические обследования будут полезными для выявления патогенных грибов, способных вызывать усыхание ветвей клонированных саженцев сливы и абрикоса в открытом грунте и мумификацию плодов маньчжурского абрикоса (Nekrasov, 2024).

Перспективы и заключение

Как видно из приведенных направлений исследований группы биохимии и биотехнологии растений Амурского филиала БСИ ДВО РАН, главным направлением является клональное микроразмножение растений. Несмотря на малый набор наименований в коллекции *in vitro*, она соответствует целям её создания, сформулированным изначально, а её пополнение продолжается (Табл.).

Расширение перечня коллекции ограничено доступными ресурсами, в первую очередь кадровыми, поскольку приготовление питательных сред и субкультивирование требуют ручного труда и очень времязатратны. Уже сейчас основная часть лабораторного времени занимает текущее подержание имеющейся коллекции, а с увеличением

числа коллекционных объектов количество затраченного на это времени будет только возрастать. Решение этой проблемы может идти по нескольким направлениям. Во-первых, сохранение коллекций при пониженной температуре и криоконсервация, что замедляет рост или прекращает его, тем самым избегая частое субкультивирование (Novikova, 2013). Хранение в холодных условиях мы используем для сохранения культур тканей сроком до одного года, что в какой-то момент позволило расширить список растений в коллекции. Однако не для всех культур такой способ оказался эффективным: для культур папоротников и бразений холодное хранение имело скорее негативные последствия. Для криоконсервации культуры тканей должны быть соответствующим образом подготовлены, чтобы избежать повреждения клеток при замерзании (Novikova, 2013), и это может составлять самостоятельное исследование, если нет литературных данных для конкретного вида.

Во-вторых, культуры тканей могут быть переданы оригинаторам растительного материала при условии, что они заинтересованы в них и располагают соответствующими компетенциями и технической базой. В нашем случае, например, ДальГАУ и ДальНИИСХ, откуда были получены экспланты сортов сливы и абрикоса. Культуры редких растений могут быть переданы в коллекции других ботанических садов. В-третьих, за счет коммерциализации процесса размножения хозяйственно ценных растений можно пополнить кадровый состав группы техническими сотрудниками. В нашем случае такими растениями являются декоративные и плодовые косточковые культуры. Для коммерческого использования культур необходимо оценить соответствие полученных саженцев сортовым признакам маточных растений, их жизнеспособность, а также риски и неблагоприятные факторы при их выращивании в полевых условиях. Хотя возделывание плодовых растений в открытом грунте выходит за рамки компетенций нашей группы, такие работы мы проводим. Для их успешной реализации требуется развитие фитопатологического направления в Амурском филиале или привлечение сторонних специалистов.

Аналогичные испытания растений, из категории редких и исчезающих и полученных *in vitro*, в условиях открытого грунта также имеют целью оценки жизнеспособности, соответствия видовым признакам и выявление аномалий. Одна из проблем, связанных с выращиванием растений *in vitro*, состоит в возможности соматической изменчивости — наследуемое изменение генома

клеточных линий в результате изменений условий выращивания (Lebedev et al., 2012; Novikova, 2013). В настоящее время группа не располагает необходимыми ресурсами и компетенциями для определения соматической изменчивости на генетическом уровне. В случае клонального микроразмножения, без предшествующей генетической трансформации растительных клеток приемлем фенотипический анализ (Lebedev et al., 2012). Полученные растения-регенеранты будут не только пополнять коллекцию живых растений Амурского филиала, но могут быть использованы для создания новых популяций в природных биоценозах.

Имеющаяся коллекция культур тканей растений может быть полезной для физиологических и биохимических исследований. Некоторые собственные наблюдения указывают на возможное использование окислительного стресса как фактора, определяющего морфогенез микрорастений, способного как интенсифицировать ростовые процессы у растений (бразения), так и ограничивать их развитие в условиях *in vitro* (слива, абрикос). Например, окислительный стресс или состояние антиоксидантной системы растения могут лежать в основе отрицательного эффекта смены питательных сред (Quoirin-Lepoivre на woody plant medium), который наблюдали при клональном микроразмножении сливы (Nekrasov, Shelikhan, 2021) и абрикоса.

До сих пор нами недостаточно использована коллекция растений *in vitro* в биохимических исследованиях. Поскольку выращивание микрорастений проводят в контролируемых условиях, такие исследования имеют биотехнологический потенциал. Полученные нами результаты ограничены только культурой гаметофитов страусника (Nekrasov et al., 2019b). На мой взгляд, перспективными будут исследования биохимического состава зеленых глобулярных тел папоротников, так как они характеризуются высокой скоростью образования биомассы, а выращивание в асептических и контролируемых условиях позволит избежать загрязнений, возможных в природных условиях, и стандартизировать процесс культивирования.

Учитывая имеющиеся заделы, биохимическое направление будет продолжено в части биохимии липидов растений: исследования липидов папоротников, в том числе оценка биотехнологического потенциала папоротников в получении ценных жирных кислот; особенности метаболизма аминокислот в листьях сирени местной флоры *S. amurensis*. Перспективным является оценка ресурсного потенциала растений Амурской области, в частности, поиск новых продуцентов

биологически активных жирных кислот и содержащих их липидов. С целью оценки пищевой ценности объектами биохимических исследований могут быть плоды клонированных сортов сливы и абрикоса. В частности, фенольные соединения и другие антиоксиданты плодов косточковых культур обсуждаются для профилактики заболеваний человека (Richter, Gorina, 2018). Принимая во внимание большой опыт научного сотрудника Амурского филиала к.б.н. Е.В. Шидло в анализе фенольных соединений растений рода *Dasiphora* (Shidlo, 2024), расширение спектра исследуемых компонентов становится вполне реальным.

Несмотря на малый численный состав (2,5 штатные единицы), группой биохимии и биотехнологии растений Амурского филиала ДВО РАН проделана значительная научная работа за десять лет своего существования. Главным достижением стало создание коллекции растений *in vitro* и необходимой для её поддержания и развития собственной материально-технической базы. Коллекция *in vitro* включает 10 видов природной флоры, 11 сортов и культурных форм. Из них 12 таксонов высажены в открытый грунт. На базе лаборатории биогеохимии ИГиП ДВО сохраняются штаммы 8 видов микромицетов, выделенные с побегов абрикоса. «Широкий фронт» научных исследований замедляет темп их реализации, однако позволяет выявить новые интересные направления, способные стать перспективными в будущем. Так, введение в культуру *in vitro* абрикоса маньчжурского послужило толчком к исследованию ассоциированных с ним микроскопических грибов и обнаружению видов, для которых ранее абрикос не был показан в качестве хозяина. Или в случае с папоротниками, когда успешное введение их в культуру *in vitro* посредством спор дало возможность получать зеленые глобулярные тела и, таким образом, вывести размножение папоротников на новый уровень, и далее открывает возможности их биотехнологического использования. Как и достигнутые уже результаты, дальнейший прогресс группы возможен только в кооперации с коллегами из других научных учреждений и направлений. В настоящее время наиболее тесные научные контакты сложились с Институтом геологии и природопользования ДВО РАН, Национальным научным центром морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН и Всероссийским научно-исследовательским институтом защиты растений. Научный потенциал группы развивается в том числе за счет обучения в аспирантуре — один сотрудник окончил аспирантуру и одна сотрудница проходит обучение в Ботаническом саде-институте ДВО РАН.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема №122040800086-1).

Список литературы

- [Apricot Podarok] Абрикос Подарок БАМу. Available at: <https://dvniish.ru/otdely/laboratorija-plodovodstva/abrikos/abrikos-podarok-bamu/> (accessed 05.12.2025).
- [Astudillo et al.] Astudillo A.M., Balmora D., Balboa M.A., Balsinde J. 2012. Dynamics of arachidonic acid mobilization by inflammatory cells. *Biochim. Biophys. Acta.* 1821: 249–256. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2011.11.006>
- [Baskin, Baskin] Baskin J.M., Baskin C.C. 1985. Epicotyl dormancy in seeds of *Cimicifuga racemosa* and *Hepatica acutiloba*. *Bull. Torrey Bot. Club.* 112(3): 253–257. Available at: <http://www.jstor.org/stable/2996540> (accessed 20.10.2013).
- [CSBG] Лаборатория биотехнологии ЦСБС. 2025. Available at: <https://csbg-nsk.ru/lab-biotechnology> (accessed 05.12.2025).
- [Dulin] Дулин А.Ф. 2002. Регуляция прорастания семян некоторых видов Дальнего Востока. *Бюлл. Глав. Бот. Сада.* Вып. 184. С. 99–104.
- [DV NIISH] Лаборатория плодородства ДВ НИИСХ. 2025. Available at: <https://dvniish.ru/otdely/laboratorija-plodovodstva/> (accessed 05.12.2025).
- [DV Uchenyi] Некрасов Э.В. 2018. Розы из пробирки. *Дальневосточный ученый.* №14–15 (1602-1603) от 25 июля С. 11. Available at: <http://dvuch.febras.ru/images/newspaper/pdf/2018/9-16.pdf> (accessed 05.12.2025).
- [Dyall, Michael-Titus] Dyall S.C., Michael-Titus A.T. 2008. Neurological benefits of omega-3 fatty acids. *Neuromol. Med.* 10(4): 219–235. <https://doi.org/10.1007/s12017-008-8036-z>
- [Eremin, Taran] Еремин В.М., Таран А.А. 2019. Красная книга Сахалинской области: Растения и грибы. Официальное издание. Кемерово. 352 с.
- [FEB RAS] Сайт Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2018. Розы из пробирки расцвели в Амурском филиале Ботанического сада-института ДВО РАН. Available at: <http://www.febras.ru/component/content/article/19-novosti/novosti-nasajte/5650-rozy-iz-probirki-rastsveli-v-amurskom-filiale.html> (accessed 05.12.2025).
- [GBS] Лаборатория биотехнологии ГБС. 2025. Available at: <https://www.gbsad.ru/laboratoria-biotechnologi> (accessed 05.12.2025).

- [Geltman] Гельтман Д.В. (отв. ред.). 2024. Красная книга Российской Федерации. Растения и грибы. М. 944 с.
- [Ivachenko] Иваченко Л.Е. 2011. Ферменты как маркеры адаптации сои к условиям выращивания: монография. Благовещенск. 192 с.
- [Jain, Haggman] Jain S.M., Haggman H. (eds.). 2007. Protocols for Micropropagation of Woody Trees and Fruits. Dordrecht. 559 p.
- [Jain, Ochatt] Jain S.M., Ochatt S.J. (eds.) 2010. Protocols for *in vitro* Propagation of Ornamental Plants. New York. 400 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-60327-114-1>
- [Kazmin] Казьмин Г.Т. 1973. Абрикос на Дальнем Востоке. Хабаровск. 264 с.
- [Krestov] Крестов П.В. (отв. ред.). 2014. Ботанический сад-институт ДВО РАН — 65 лет. Владивосток. 56 с.
- [Lambardi et al.] Lambardi M., Ozudogru E.A., Jain S.M. (eds.) 2013. Protocols for Micropropagation of Selected Economically-Important Horticultural Plants. New York. 490 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-62703-074-8>
- [Lebedev et al.] Лебедев В.Г., Азарова А.Б., Шестибратов К.А., Деменко В.И. 2012. Проявление соматической изменчивости у микроразмноженных и трансгенных растений. Известия ТСХА. Вып. 1. С. 153–163.
- [Lee et al.] Lee S.-I., Lee E.-P., Hong Y.-S. Kim E.-J., Lee S.-Y., Park J.-H., Jang R.-H., You Y.-H. 2020. Study on ecological restoration of endangered species in abandoned paddy of Korea and management plan for its habitat. J. Wetlands Res. 22(2): 81–91. <https://doi.org/10.17663/JWR.2020.22.2.81>
- [Malaeva et al.] Малаева Е.В., Супрун Н.А., Коротков О.И., Короткова О.О. 2008. Генетический банк редких и ценных видов растений Волгоградского регионального ботанического сада. Вестн. Волгогр. гос. ун-та. Сер. 3, Экон. Экол. № 2 (13). С. 253–257.
- [Molkanova] Молканова О.И., Горбунов Ю.Н., Ширнина И.В., Егорова Д.А. 2020. Применение биотехнологических методов для сохранения генофонда редких видов растений. Бот. журн. Т. 105. № 6. С. 610–619. <https://doi.org/10.31857/S0006813620030072>
- [Nekrasov, 2017] Некрасов Э.В. 2017. Размножение *Armeniaca mandshurica* (Rosaceae) в культуре *in vitro*. Бюлл. БСИ ДВО РАН. Вып. 18. С. 81–88. <https://doi.org/10.17581/bbgi1814>
- [Nekrasov, 2023] Nekrasov E.V. 2023. Fern fatty acids: from diversity to dietary value. In: H.N. Murthy (ed.) Bioactive Compounds in Bryophytes and Pteridophytes. Reference Series in Phytochemistry. P. 339–388. https://doi.org/10.1007/978-3-031-23243-5_27
- [Nekrasov, 2024] Некрасов Э.В. 2024. Косточковые плодовые культуры, полученные методом клонального микроразмножения, в условиях открытого грунта Амурского филиала Ботанического сада-института ДВО РАН. В сб.: Тез. докл. конф. «Растения в муссонном климате — X: Растительный генофонд востока Азии и климат». Владивосток. С. 52. <https://doi.org/10.17581/mon2024.048>
- [Nekrasov et al., 2014] Некрасов Э.В., Шумилова Л.П., Бабикова А.В. 2014. Введение в культуру *in vitro* абрикоса маньчжурского (*Armeniaca mandshurica* (Maxim.) B. Skvortz.) В сб.: Тезисы докладов конференции с международным участием "Актуальные проблемы сохранения растительного генофонда Восточной Азии на территории России". Владивосток. С. 21–22.
- [Nekrasov et al., 2019a] Nekrasov E.V., Svetashev V.I., Khrapko O.V., Vyssotski M.V. 2019. Variability of fatty acid profiles in ferns: Relation to fern taxonomy and seasonal development. Phytochemistry. 162: 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2019.02.015>
- [Nekrasov et al., 2019b] Nekrasov E.V., Shelikhan L.A., Svetashev V.I. 2019. Fatty acid composition of gametophytes of *Matteuccia struthiopteris* (L.) Tod. (Onocleaceae, Polypodiophyta). Bot. Pacifica. 8(1): 63–66. <https://doi.org/10.17581/bp.2019.08104>
- [Nekrasov et al., 2020] Некрасов Э.В., Шумилова Л.П., Гомжина М.М. 2020. Патогенность двух видов фомоидных грибов в отношении абрикоса маньчжурского. В сб.: Современные подходы и методы в защите растений: Материалы II Международной научно-практической конференции. Екатеринбург. С. 158–159.
- [Nekrasov et al., 2022] Nekrasov E.V., Shumilova L.P., Gomzhina M.M., Aleksandrova A.V., Kokaeva L.Y., Pavlova L.M. 2022. Diversity of endophytic fungi in annual shoots of *Prunus mandshurica* (Rosaceae) in the South of Amur Region, Russia. Diversity. 14: 1124. <https://doi.org/10.3390/d14121124>
- [Nekrasov, Kotelnikova, 2000] Некрасов Э.В., Котельникова И.М. 2000. Изменение активности фосфолипазы D в побегах растений в течение вегетационного периода. Физиол. раст. Т. 47. С. 524–530.
- [Nekrasov, Kotelnikova, 2015] Некрасов Э.В., Котельникова И.М. 2015. Фосфатидилэтаноламин в побегах сирени амурской (*Syringa amurensis* Rupr.): особенности сезонных изменений в сравнении с другими представителями сем. Oleaceae. В сб.: Растения в условиях глобальных и локальных природно-климатических и антропогенных воздействий: Всероссийская науч. конф. с междунар. участием: [тез. докл.]. Петрозаводск. С. 372.

- [Nekrasov, Naumov] Некрасов Э.В., Наумов Д.Е. 2022. Действие препаратов глицеролипидов из папоротника и хвоща на мононуклеарные клетки периферической крови человека в условиях *ex vivo*. Бюлл. физиол. патол. дыхания. № 86. С. 91–101. <https://doi.org/10.36604/1998-5029-2022-86-91-101>
- [Nekrasov, Pshennikova] Некрасов Э.В., Пшенникова Л.М. 2016. Временное исчезновение фосфатидилэтаноламина и фосфатидилсерина в зрелых листьях как отличительная особенность некоторых видов подрода *Ligustrina* рода *Syringa* L. (Oleaceae). В сб.: Сохранение разнообразия растительного мира в ботанических садах: традиции, современность, перспективы: материалы междунар. конф. Новосибирск. С. 201–203.
- [Nekrasov, Shelikhan, 2021] Некрасов Э.В., Шелихан Л.А. 2021. Размножение сортов сливы амурской селекции в культуре *in vitro*. Бюлл. БСИ ДВО РАН. Вып. 26. С. 20–29. <https://doi.org/10.17581/bbgi2604>
- [Nekrasov, Shelikhan, 2023] Некрасов Э.В., Шелихан Л.А. 2023. Клональное микроразмножение чайно-гибридной розы ‘Pink Floyd’. В сб.: Актуальные научно-технические средства и сельскохозяйственные проблемы: материалы XI Национальной научно-практической конференции с международным участием (г. Кемерово, 29 декабря 2023 г.). Кемерово. С. 273–281. Available at: <https://ksai.ru/upload/files/sborniki/2024/actual/index.html> (accessed 05.12.2025).
- [Nekrasov, Svetashev, 2019] Некрасов Э.В., Светашев В.И. 2019. Распределение сиадоновой и юнипероновой жирных кислот по классам липидов в побегах хвоща *Equisetum arvense* в течение вегетационного периода. В сб.: Физиология растений — основа создания растений будущего: Тезисы докладов IX Съезда ОФР. Казань. С. 307. Available at: <https://congresskazan2019.ofr.su/viewthesis?id=605> (accessed 30.11.2019).
- [Nekrasov, Svetashev, 2021] Nekrasov E.V., Svetashev V.I. 2021. Edible Far Eastern ferns as a dietary source of long-chain polyunsaturated fatty acids. *Foods*. 10(6): 1220. <https://doi.org/10.3390/foods10061220>
- [Nikolaeva et al.] Николаева М.Г., Разумова М.В., Гладкова В.Н. 1985. Справочник по проращиванию покоящихся семян. Л. 223 с.
- [Novikova et al.] Новикова Т.И., Набиева А.Ю., ПолубоярOVA Т.В. 2008. Сохранение редких и полезных растений в коллекции *in vitro* Центрального сибирского ботанического сада. Вестник ВОГиС. Т. 12. № 4. С. 564–572.
- [Novikova] Новикова Т.И. 2013. Использование биотехнологических подходов для сохранения биоразнообразия растений. Раст. мир Азиат. России. № 2 (12). С. 119–128.
- [Oh et al.] Oh M.J., Na H.R., Choi H.-K., Liu J.R. Weon S. 2008. High frequency plant regeneration from zygotic-embryo-derived embryogenic cell suspension cultures of watershield (*Brasenia schreberi*). *Plant Biotechnol. Rep.* 2: 87–92. <https://doi.org/10.1007/s11816-008-0047-6>
- [Ostrolucka et al] Ostrolucka M.G., Gajdosova, Libiakova G., Hrubikova K., Bezo M. 2007. Protocol for micropropagation of selected *Vaccinium* spp. In: S.M. Jain, H. Haggman (eds.) *Protocols for Micropropagation of Woody Trees and Fruits*. Dordrecht. P. 445–455.
- [PerezTornerO, Burgos] Perez-TornerO O., Burgos L. 2007. Apricot micropropagation. In: S.M. Jain, H. Haggman (eds.) *Protocols for Micropropagation of Woody Trees and Fruits*. Dordrecht. P. 267–278.
- [Reimer et al.] Реймер В.В., Пастушенко С.Б., Пашина Л.Л., Тихонов Е.И. 2021. Аграрный сектор экономики Амурской области: анализ развития. *Международ. сельскохоз. журн.*, Т. 64. № 5 (383). С. 13–21. <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-5-13-21>
- [Richter, Gorina, 2018] Рихтер А.А., Горина В.М. 2018. Полифенолы тканей плодов косточковых культур в профилактике некоторых заболеваний человека. *Плодоводство*. Т. 30. С. 273–283.
- [Schlenk, Gellerman] Schlenk H., Gellerman J.L. 1965. Arachidonic, 5,11,14,17-eicosatetraenoic and related acids in plants — identification of unsaturated fatty acids. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 42: 504–511. <https://doi.org/10.1007/BF02540092>
- [Senchik, Malikova] Сенчик А.В. (гл. ред.), Маликова Е.И. (науч. ред.) 2020. Красная книга Амурской области: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных, растений и грибов: официальное издание. Благовещенск. 499 с.
- [Shelikhan, 2017] Шелихан Л.А. 2017. Введение папоротника *Matteuccia struthiopteris* (L.) Tod. в культуру *in vitro*: выбор условий дезинфекции спор. В сб.: Актуальные проблемы химии и биологии: Матер. конф. «XVI Всероссийская молодёжная школа-конференция памяти В.Е. Васьяковского». Владивосток. С. 69.
- [Shelikhan, 2018] Шелихан Л.А. 2018. Введение в культуру *in vitro* редкого папоротника *Polystichum craspedosorum*. В сб.: Растения в муссонном климате. Антропогенная и климатическая трансформация флоры и растительности. Матер. VIII всероссийской науч. конф. Благовещенск. С. 253–256.
- [Shelikhan, 2020] Shelikhan L.A. 2020. *In vitro* culture of the rare fern *Polystichum craspedosorum* (Maxim.) Diels. *Bot. Pacifica*. 9(1): 91–95. <https://doi.org/10.17581/bp.2020.09102>

- [Shelikhan, 2023] Шелихан Л.А. 2023. Регенерация папоротников в культуре *in vitro* посредством зеленых глобулярных тел. Физиол. раст. Т. 70. № 2. С. 160–170. <https://doi.org/10.31857/S0015330322600498>
- [Shelikhan, 2024] Shelikhan L.A. 2024. *In vitro* propagation of the rare fern *Polystichum craspedosorum* (Maxim.) Diels. via green globular bodies. Bot. Pacifica. 13(2): 93–97. <https://doi.org/10.17581/bp.2024.13210>
- [Shelikhan, 2025] Shelikhan L.A. 2025. *In vitro* propagation of the rare fern *Asplenium incisum* Thunb. via green globular bodies. Bot. Pacifica. 14(2): 55–60. <https://doi.org/10.17581/bp.2025.14203>
- [Shelikhan, Nekrasov, 2018] Шелихан Л.А., Некрасов Э.В. 2018. Размножение папоротников посредством спор в культуре *in vitro* (обзор литературы). Бюлл. БСИ ДВО РАН. Вып. 20. С. 1–20. <https://doi.org/10.17581/bbgi2003>
- [Shidlo] Шидло Е.В. 2024. Морфологическая и биохимическая изменчивость растений рода *Dasiphora* Raf. Восточной Сибири и российского Дальнего Востока: дис. ... канд. биол. наук. Благовещенск. 269 с.
- [Shumilova et al.] Шумилова Л.П., Каботов Е.Э., Некрасов Э.В. 2022. *Gibellulopsis nigrescens* как возбудитель увядания растений сливы, полученных методом клонального микроразмножения. Даль. аграр. вест. Т. 16. №3. С. 26–32. https://doi.org/10.22450/199996837_2022_3_26
- [Shumilova, Kabotov] Шумилова Л.П., Каботов Е.Э. 2024. Заражение сои в условиях *in vivo* грибами *Diaportha*. Росс. сельскохоз. наука. № 3. С. 56–61. <https://doi.org/10.31857/S2500262724030118>
- [Shumilova, Nekrasov] Шумилова Л.П., Некрасов Э.В. 2016. Фитопатогенные микромицеты однолетних побегов абрикоса маньчжурского в условиях юга Амурской области. В сб.: Мониторинг и биологические методы контроля вредителей и патогенов древесных растений: от теории к практике: материалы Всероссийской конф. с междунар. участием. Красноярск. С. 264–265.
- [Starchenko] Старченко В.М. 2008. Флора Амурской области и вопросы ее охраны : Дальний Восток России. М. 228 с.
- [Voroshilova] Ворошилова И. 2023. Влюбился в «Пинк Флойд» и стал клонировать розы. Амурский ученый создает копии цветов, абрикосов и слив. Амурская правда. 20 сентября. №37 (29081).
- [Zaytseva, Novikova] Zaytseva Y.G., Novikova T.I. 2022. TDZ-induced two-step regeneration and histological analysis of morphogenesis from pedicel tissue of *Rhododendron dauricum* L., a semi-evergreen species. *in vitro* Cell. Develop. Biol. - Plant. 58: 911–920. <https://doi.org/10.1007/s11627-022-10307-3>
- [Zhang et al.] Zhang Q., Wei W., Jin X., Lu J., Chen S., Ogaji O.D., Wang S., Du K., Chang Y., Li J. 2024. Traditional uses, phytochemistry, pharmacology, quality control and clinical studies of Cimicifugae Rhizoma: a comprehensive review. Chin. Med. 19: 66. <https://doi.org/10.1186/s13020-024-00937-7>

Ten years of the plant biochemistry and biotechnology group of the Amur branch of the Botanical Garden-Institute FEB RAS

© E.V. Nekrasov

Amur Branch of Botanical Garden-Institute FEB RAS, Blagoveshchensk, Russia
E-mail: ed_nekrasov@mail.ru

The article describes researches conducted by the plant biochemistry and biotechnology group in the Amur Branch of the Botanical Garden-Institute FEB RAS (Blagoveshchensk, Amur Region) for ten years. The following achievements are highlighted: establishment of a plant tissue culture collection and *in vitro* cloning of economically significant plants (varieties and selected forms of apricot and plum bred in the Far East) and rare plants listed in the federal and regional Red Books (the Manchurian apricot, *Brasenia schreberi*, six fern species), in field growth of the regenerated plants, studies of fatty acids in Far Eastern ferns, and a description of the community of microscopic fungi colonizing the shoots of the Manchurian apricot. *In vitro* plant collection includes 10 species of the native flora, 11 varieties and selected forms, with 12 taxons of regenerated plants being planted in the open ground. Staff scientific qualification occurs through postgraduate studies. Prospects for the group's future development are discussed.

Keywords: ferns, rare and endangered plants, rhododendron, rose, stone fruits, watershield, clonal micropropagation, *in vitro* conservation, lipids, micromycetes.

References

- [Apricot Podarok] Abrikos Podarok BAMu [Apricot 'Podarok BAMu']. (In Russ.) Available at: <https://dvniish.ru/otdely/laboratoriya-plodovodstva/abrikos/abrikos-podarok-bamu/> (accessed 05.12.2025).
- Astudillo A.M., Balgoma D., Balboa M.A., Balsinde J. 2012. Dynamics of arachidonic acid mobilization by inflammatory cells. *Biochim. Biophys. Acta.* 1821: 249–256. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2011.11.006>
- Baskin J.M., Baskin C.C. 1985. Epicotyl dormancy in seeds of *Cimicifuga racemosa* and *Hepatica acutiloba*. *Bull. Torrey Bot. Club.* 112(3): 253–257. Available at: <http://www.jstor.org/stable/2996540> (accessed 20.10.2013).
- [CSBG] Website of the Biotechnology Laboratory of the Central Siberian Botanical Garden. 2025. (In Russ.) Available at: <https://csbg-nsk.ru/lab-biotechnology> (accessed 05.12.2025).
- Dulin A.F. 2002. Seed germination control in some wild species of the Far-Eastern flora. *Bulletin of the Main Botanical Garden.* 184: 99–104. (In Russ.)
- [DV NIISH] Website of the Laboratory of Fruit Growing of the Far Eastern Research Institute of Agriculture. 2025. Available at: <https://dvniish.ru/otdely/laboratoriya-plodovodstva/> (accessed 05.12.2025). (In Russ.)
- [DV Uchenyi] Nekrasov E.V. 2018. Rozy iz probirki [Roses from a test tube]. *Dalnevostochnyi uchenyi [Far Eastern scientist.]* 14–15(1602-1603): 11. Available at: <http://dvuch.febras.ru/images/newspaper/pdf/2018/9-16.pdf> (accessed 05.12.2025). (In Russ.)
- Dyall S.C., Michael-Titus A.T. 2008. Neurological benefits of omega-3 fatty acids. *Neuromol. Med.* 10(4): 219–235. <https://doi.org/10.1007/s12017-008-8036-z>
- Eremin V.M., Taran A.A. 2019. *Krasnaya kniga Sakhalinskoj oblasti: Rasteniya i griby. Ofitsialnoye izdaniye.* [The Red Data Book of the Sakhalin Region. Plants and Fungi. Official Edition]. Kemerovo. 352 pp. (In Russ.)
- [FEB RAS] Website of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. 2018. Rozy iz probirki rastsveli v Amurskom filiale Botanicheskogo sada-instituta DVO RAN [Test-tube roses have blossomed at the Amur branch of the Botanical Garden-Institute FEB RAS]. Available at: <http://www.febras.ru/component/content/article/19-novosti/novosti-na-sajte/5650-rozy-iz-probirki-rastsveli-v-amurskom-filiale.html> (accessed 05.12.2025). (In Russ.)
- [GBS] Website of the Biotechnology Laboratory of the Main Botanical Garden. 2025. Available at: <https://www.gbsad.ru/laboratoria-biotehnologi> (accessed 05.12.2025). (In Russ.)

- Geltman D.V. (ed.). 2024. *Krasnaya kniga Rossiiskoi Federatsii. Rasteniya i griby*. [The Red Data Book of the Russian Federation. Plants and Fungi]. Moscow. 944 pp. (In Russ.)
- Ivachenko L.E. 2011. *Fermenty kak markery adaptatsii soi k usloviyam vyrashchivaniya: monografiya* [Enzymes as markers of soybean adaptation to growing conditions: monograph]. Blagoveshchensk. 192 pp.
- Jain S.M., Haggman H. (eds.). 2007. *Protocols for Micropropagation of Woody Trees and Fruits*. Dordrecht. 559 pp.
- Jain S.M., Ochatt S.J. (eds.) 2010. *Protocols for In Vitro Propagation of Ornamental Plants*. New York. 400 pp. <https://doi.org/10.1007/978-1-60327-114-1>
- Kazmin G.T. 1973. *Abrikos na Dalnem Vostoke* [Apricot in the Far East]. Khabarovsk. 264 pp. (In Russ.)
- Krestov P.V. (ed.). 2014. *Botanicheskii sad-institut DVO RAN — 65 let* [Botanical Garden-Institute FEB RAS — 65 years]. Vladivostok. 56 pp. (In Russ.)
- Lambardi M., Ozudogru E.A., Jain S.M. (eds.) 2013. *Protocols for Micropropagation of Selected Economically-Important Horticultural Plants*. New York. 490 pp. <https://doi.org/10.1007/978-1-62703-074-8>
- Lebedev V.G., Azarova A.B., Shestibratov K.A., Demenko V.I. 2012. Proyavleniye somaklonalnoi izmenchivosti u mikrorazmnozheniykh i transgennykh rastenii [Manifestation of somaclonal variability in micropropagated and transgenic plants]. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 1: 153–163. (In Russ.)
- Lee S.-I., Lee E.-P., Hong Y.-S., Kim E.-J., Lee S.-Y., Park J.-H., Jang R.-H., You Y.-H. 2020. Study on ecological restoration of endangered species in abandoned paddy of Korea and management plan for its habitat. *J. Wetlands Res.* 22(2): 81–91. <https://doi.org/10.17663/JWR.2020.22.2.81> (In Korean)
- Malaeva E.V., Suprun N.A., Korotkov O.I., Korotkova O.O. Genetics bank of rare and valuable plant species of Volgograd regional botanic garden. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 3. Ekonomika. Ecologiya*. 2(13): 253–257. (In Russ.)
- Molkanova O.I., Gorbunov Y.N., Shirnina I.V., Egorova D.A. 2020. Use of biotechnological methods for conservation of gene pool of rare plant species. *Botanicheskii Zhurnal*. 105(6): 610–619. <https://doi.org/10.31857/S0006813620030072> (In Russ.)
- Nekrasov E.V. 2017. In vitro propagation of *Armeniaca mandshurica* (Rosaceae). *Byull. BSI DVO RAN* [Bulletin of the BGI FEB RAS]. 18: 81–88. <https://doi.org/10.17581/bbgi1814> (In Russ.)
- Nekrasov E.V. 2023. Fern fatty acids: from diversity to dietary value. In: *Bioactive Compounds in Bryophytes and Pteridophytes. Reference Series in Phytochemistry*. 339–388 pp. https://doi.org/10.1007/978-3-031-23243-5_27
- Nekrasov E.V. 2024. Kostochkovyye plodovyye kultury, poluchennyye metodom klonalnogo mikrorazmnozheniya, v usloviyakh otkrytogo grunta Amurskogo filiala Botanicheskogo sada-instituta DVO RAN [Stone fruit crops obtained by clonal micropropagation in open ground of the Amur branch of the Botanical Garden-Institute FEB RAS]. In: *Tezisy dokladov konferentsii «Rasteniya v mussonnom klimate — X: Rastitelnyi genofond vostoka Azii i klimat»* [Abstracts of the conference “Plants in monsoonal climate — X: East Asian plant gene pool and climate”]. Vladivostok. 52 p. (In Russ.)
- Nekrasov E.V., Shumilova L.P., Babikova A.V. 2014. Vvedeniye v kulturu in vitro abrikosa manchzhurskogo (*Armeniaca mandshurica* (Maxim.) V. Skvortz.) [Introduction to in vitro culture of the Manchurian apricot (*Armeniaca mandshurica* (Maxim.) V. Skvortz.)] In: *Tezisy dokladov konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem "Aktualnyye problemy sokhraneniya rastitelnogo genofonda Vostochnoi Azii na territorii Rossii"* [Abstracts of the conference with international participation "Current problems of preserving the plant gene pool of East Asia in Russia"]. Vladivostok. 21–22 pp. (In Russ.)
- Nekrasov E.V., Svetashev V.I., Khrapko O.V., Vyssotski M.V. 2019a. Variability of fatty acid profiles in ferns: Relation to fern taxonomy and seasonal development. *Phytochemistry*. 162: 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2019.02.015>
- Nekrasov E.V., Shelikhan L.A., Svetashev V.I. 2019b. Fatty acid composition of gametophytes of *Matteuccia struthiopteris* (L.) Tod. (Onocleaceae, Polypodiophyta). *Bot. Pacifica*. 8(1): 63–66. <https://doi.org/10.17581/bp.2019.08104>
- Nekrasov E.V., Shumilova L.P., Gomzhina M.M. 2020. Patogennost dvukh vidov fomoidnykh gribov v otnoshenii abrikosa manchzhurskogo [Pathogenicity of two species of phomoid fungi on the Manchurian apricot]. In: *Sovremennyye podkhody i metody v zashchite rastenii: Materialy II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Modern Approaches and Methods in Plant Protection: Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference]. Yekaterinburg. 158–159 pp. (In Russ.)
- Nekrasov E.V., Shumilova L.P., Gomzhina M.M., Aleksandrova A.V., Kokaeva L.Y., Pavlova L.M. 2022. Diversity of endophytic fungi in annual shoots of *Prunus*

- mandshurica* (Rosaceae) in the South of Amur Region, Russia. *Diversity*. 14: 1124. <https://doi.org/10.3390/d14121124>
- [Nekrasov, Kotelnikova, 2000] Nekrasov E.V., Kotel'nikova I.M. 2000. Phospholipase D activity in shoots of arboreal plants during the growing season. *Russ. J. Plant Physiol.* 47: 456–462.
- Nekrasov E.V., Kotelnikova I.M. 2015. Fosfatidiletanolamin v pobegakh sireni amurskoi (*Syringa amurensis* Rupr.): osobennosti sezonnykh izmenenii v sravnenii s drugimi predstavitel'yami sem. Oleaceae [Phosphatidylethanolamine in shoots of the Amur lilac (*Syringa amurensis* Rupr.): seasonal changes in comparison with other representatives of the family Oleaceae]. In: *Rasteniya v usloviyakh globalnykh i lokalnykh prirodno-klimaticheskikh i antropogennykh vozdeistvii: Vserossiiskaya nauch. konf. s mezhdunar. uchastiyem: tez. dokl.* [Abstracts of the All-Russian conference with international participation “Plants under global and local natural-climatic and anthropogenic influences”]. Petrozavodsk. 372 pp. (In Russ.)
- Nekrasov E.V., Naumov D.E. 2022. Effect of glycerolipid preparations from fern and horsetail on human peripheral blood mononuclear cells under ex vivo conditions. *Bulleten fiziologii i patologii dyhanii = Bulletin Physiology and Pathology of Respiration*. 86: 91–101. <https://doi.org/10.36604/1998-5029-2022-86-91-101> (In Russ.)
- Nekrasov E.V., Pshennikova L.M. 2016. Vremennoye ischeznoveniye fosfatidiletanolamina i fosfatidilserina v zrelykh listyakh kak otlichitel'naya osobennost nekotorykh vidov podroda *Ligustrina* roda *Syringa* L. (Oleaceae) [Temporary disappearance of phosphatidylethanolamine and phosphatidylserine in mature leaves as a distinctive feature of some species of the subgenus *Ligustrina* of the genus *Syringa* L. (Oleaceae)]. In: *Sokhraneniye raznoobraziya rastitelnogo mira v botanicheskikh sadakh: traditsii, sovremennost, perspektivy: materialy mezhdunar. konf.* [Proceedings of the International conference “Conservation of plant diversity in botanical gardens: traditions, modernity, prospects”] Novosibirsk. 201–203 pp. (In Russ.)
- Nekrasov E.V., Shelikhan L.A. 2021. *In vitro* propagation of plum cultivars selected in Amur Region, Russia. *Byull. BSI DVO RAN* [Bulletin of the BGI FEB RAS]. 26: 20–29. <https://doi.org/10.17581/bbgi2604> (In Russ.)
- Nekrasov E.V., Shelikhan L.A. 2023. Clonal micropropagation of Hybrid tea rose ‘Pink Floyd’. In: *Aktualnyye nauchno-tekhnicheskkiye sredstva i selskokhozyaistvennyye problemy: materialy XI Natsionalnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* [Proceedings of the XI National scientific and practical conference with international participation “Current scientific and technical means and agricultural problems”]. Kemerovo. 273–281 pp. Available at: <https://ksai.ru/upload/files/sborniki/2024/actual/index.html> (accessed 05.12.2025). (In Russ.)
- Nekrasov E.V., Svetashev V.I. 2019. Raspredeleniye stsiadonovoi i yuniperonovoi zhirnykh kislot po klassam lipidov v pobegakh khvoshcha *Equisetum arvense* v techeniye vegetatsionnogo perioda [Distribution of sciadonic and juniperonic fatty acids among lipid classes in *Equisetum arvense* shoots during the growing season]. In: *Fiziologiya rastenii - osnova sozdaniya rastenii budushchego: Tezisy dokladov IX Syezda OFR* [In: Abstracts of the IX Congress of the Russian Society of Plant Physiologists “Plant physiology is the basis for creating plants of the future”]. Kazan. 307 p. Available at: <https://congresskazan2019.ofr.su/viewthesis?id=605> (accessed 30.11.2019). (In Russ.)
- Nekrasov E.V., Svetashev V.I. 2021. Edible Far Eastern ferns as a dietary source of long-chain polyunsaturated fatty acids. *Foods*. 10(6): 1220. <https://doi.org/10.3390/foods10061220>
- Nikolaeva M.G., Rasumova M.V., Gladkova V.N. 1985. *Spravochnik po prorashchivaniyu pokoyashchikhsya semyan* [Reference Book on Dormant Seed Germination]. Leningrad. 223 pp. (In Russ.)
- Novikova T.I., Nabieva A.Yu., Poluboyarova T.V. 2008. Rare and useful plants' conservation in the *in vitro* collection of Central Siberian Botanical Garden. *Informatsionnyi vestnik VOGiS*. 12(4): 564–572. (In Russ.)
- Novikova T.I. 2013. Ispolzovanie biotekhnologicheskikh podkhodov dlya sokhraneniya bioraznoobraziya rastenii [The use of biotechnological approaches for the conservation of plant diversity]. *Rastitelnyi mir Aziatskoi Rossii*. 2(12): 119–128. (In Russ.)
- Oh M.J., Na H.R., Choi H.-K., Liu J.R. Weon S. 2008. High frequency plant regeneration from zygotic-embryo-derived embryogenic cell suspension cultures of watershield (*Brasenia schreberi*). *Plant Biotechnol. Rep.* 2: 87–92. <https://doi.org/10.1007/s11816-008-0047-6>
- Ostrolucka M.G., Gajdosova, Libiakova G., Hrubikova K., Bezo M. 2007. Protocol for micropropagation of selected *Vaccinium* spp. In: S.M. Jain, H. Haggman (eds.) *Protocols for Micropropagation of Woody Trees and Fruits*. Dordrecht. 445–455 pp.
- Perez-Tornero O., Burgos L. 2007. Apricot micropropagation. In: S.M. Jain, H. Haggman (eds.) *Protocols for Micropropagation of Woody Trees and Fruits*. Dordrecht. 267–278 pp.
- Reimer V.V., Pastushenko S.B., Pashina L.L., Tikhonov E.I. 2021. Agrarian sector of the economy of the Amur Region:

- analysis and development. *Intern. Agric. J.* 5(383): 13–21. <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-5-13-21> (In Russ.)
- Richter A.A., Gorina V.M. 2018. Tissue polyphenols of stone fruit crop fruits in prevention of some human diseases. *Plodovodstvo.* 30: 273–283. (In Russ.)
- Schlenk H., Gellerman J.L. 1965. Arachidonic, 5,11,14,17-eicosatetraenoic and related acids in plants — identification of unsaturated fatty acids. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 42: 504–511. <https://doi.org/10.1007/BF02540092>
- Senchik A.V., Malikova YE.I. (eds.) 2020. *Krasnaya kniga Amurskoi oblasti: Redkiye i nakhodyashchiesya pod ugrozoi ischeznoveniya vidy zhivotnykh, rastenii i gribov: ofitsialnoye izdaniye* [Red Data Book of the Amur Region. Rare and Endangered Species of Animals, Plants and Fungi. Official Edition]. Blagoveshchensk. 499 pp.
- Shelikhan L.A. 2017. Vvedeniye paprotnika *Matteuccia struthiopteris* (L.) Tod. v kulturu *in vitro*: vybor uslovii dezinfektsii spor [Introduction of the fern *Matteuccia struthiopteris* (L.) Tod. into *in vitro* culture: choice of spore disinfection conditions]. In: *Aktualnyye problemy khimii i biologii: Mater. konf. «XVI Vserossiiskaya molodezhnaya shkola-konferentsiya pamyati V.E. Vaskovskogo»* [Current Issues in Chemistry and Biology: Proceedings of the XVI All-Russian youth school-conference in memory of V.E. Vaskovsky]. Vladivostok. 69 p. (In Russ.)
- Shelikhan L. A. 2018. Vvedeniye v kulturu *in vitro* redkogo paprotnika *Polystichum craspedosorum* [Introduction of the rare fern *Polystichum craspedosorum* into *in vitro* culture]. In: *Rasteniya v mussonnom klimате. Antropogennaya i klimaticheskaya transformatsiya flory i rastitelnosti. Mater. VIII vserossiiskoi nauch. konf.* [Abstracts of the VIII All-Russian conference “Plants in monsoonal climate. Anthropogenic and climatic transformation of flora and vegetation”]. Blagoveshchensk. 253–256 pp. (In Russ.)
- Shelikhan L.A. 2020. *In vitro* culture of the rare fern *Polystichum craspedosorum* (Maxim.) Diels. *Bot. Pacifica.* 9(1): 91–95. <https://doi.org/10.17581/bp.2020.09102>
- Shelikhan L.A. 2023. *In vitro* regeneration of fern via green globular bodies. *Russ. J. Plant Physiol.* 70(2): 160–170. <https://doi.org/10.1134/S1021443722602683>
- Shelikhan L.A. 2024. *In vitro* propagation of the rare fern *Polystichum craspedosorum* (Maxim.) Diels. via green globular bodies. *Bot. Pacifica.* 13(2): 93–97. <https://doi.org/10.17581/bp.2024.13210>
- Shelikhan L.A. 2025. *In vitro* propagation of the rare fern *Asplenium incisum* Thunb. via green globular bodies. *Bot. Pacifica.* 14(2): 55–60. <https://doi.org/10.17581/bp.2025.14203>
- Shelikhan L.A., Nekrasov E.V. 2018. Fern propagation via spore culture *in vitro* (a review). *Byull. BSI DVO RAN* [Bulletin of the BGI FEB RAS] 20: 1–20. <https://doi.org/10.17581/bbgi2003> (In Russ.)
- Shidlo E.V. 2024. *Morfologicheskaya i biokhimitskaya izmenchivost rastenii roda Dasiphora Raf. Vostochnoi Sibiri i rossiiskogo Dalnego Vostoka: diss. ... cand. biol. nauk* [Morphological and biochemical variability of plants of the genus *Dasiphora* Raf. of Eastern Siberia and the Russian Far East: Cand. biol. sci. diss.]. Blagoveshchensk. 269 pp. (In Russ.)
- Shumilova L.P., Kabotov E.E., Nekrasov E.V. 2022. *Gibellulopsis nigrescens* as a causal agent of plum plants wilting obtained by clonal micropropagation. *Far Eastern Agrarian Bulletin.* 16(3): 26–32. https://doi.org/10.22450/199996837_2022_3_26 (In Russ.)
- Shumilova L.P., Kabotov E.E. 2024. Infection of soybean *in vivo* with the fungi *Diaporthe* eres. *Russ. Agricult. Sci.* 3: 56–61 <https://doi.org/10.31857/S2500262724030118> (In Russ.)
- Shumilova L.P., Nekrasov E.V. 2016. Fitopatogennyye mikro-mitsety odnoletnikh pobegov abrikosa manchzhurskogo v usloviyakh yuga Amurskoi oblasti [Phytopathogenic microfungi in annual shoots of the Manchurian apricot in the south of the Amur region]. In: *Monitoring i biologicheskkiye metody kontrolya vreditelei i patogenov drevesnykh rastenii: ot teorii k praktike: materialy Vserossiiskoi konf. s mezhdunar. uchastiyem.* [Proceedings of the International conference “Monitoring and biological control methods of woody plant pests and pathogens: from theory to practice”]. Krasnoyarsk. 264–265 pp. (In Russ.)
- Starchenko V.M. 2008. *Flora Amurskoi oblasti i voprosy yeye okhrany: Dalnii Vostok Rossii* [Flora of Amur Region and Problems of its Conservation: Far East of Russia]. Moscow. 228 pp. (In Russ.)
- Voroshilova I. 2023. Vlyubilsya v ‘Pink Floyd’ i stal klonirovat rozy. Amurskii uchenyi sozdayet kopii tsvetov, abrikosov i sliv [He fell in love with ‘Pink Floyd’ and started cloning roses. An Amur scientist creates copies of flowers, apricots, and plums]. *Amurskaya pravda.* №37 (29081). (In Russ.)
- Zaytseva Y.G., Novikova T.I. 2022. TDZ-induced two-step regeneration and histological analysis of morphogenesis from pedicel tissue of *Rhododendron dauricum* L., a semi-evergreen species. *In vitro Cell. Develop. Biol. - Plant.* 58: 911–920. <https://doi.org/10.1007/s11627-022-10307-3>
- Zhang Q., Wei W., Jin X., Lu J., Chen S., Ogaji O.D., Wang S., Du K., Chang Y., Li J. 2024. Traditional uses, phytochemistry, pharmacology, quality control and clinical studies of Cimicifugae Rhizoma: a comprehensive review. *Chin. Med.* 19: 66. <https://doi.org/10.1186/s13020-024-00937-7>