

Научная статья

УДК 634.723:634.23:581.17

DOI: 10.30901/2658-6266-2024-4-01



Влияние сроков отбора почек и метеорологических факторов на результативность введения образцов смородины черной в культуру *in vitro*

С. Е. Дунаева, О. А. Тихонова, Л. Л. Малышев, Т. А. Гавриленко

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Татьяна Андреевна Гавриленко, tatjana9972@yandex.ru

Актуальность. Введение образцов полевой коллекции в культуру *in vitro* обеспечивает сохранение их в контролируемых условиях среды. В литературных источниках встречаются противоречивые данные об оптимальном сроке введения в культуру *in vitro* образцов смородины черной (*Ribes nigrum* L.), что может быть связано как с влиянием абиотических факторов, так и с генотипическими особенностями образцов, а также с характеристиками эксплантов и с условиями их культивирования. В связи с этим цель работы состояла в изучении влияния сроков отбора почек с растений полевой коллекции и влияния метеорологических факторов на результат введения в культуру *in vitro* образцов смородины черной различного происхождения. **Материалы и методы.** В течение летнего периода 2019-2022 годов в культуру *in vitro* вводили почки с годовых побегов 30 образцов смородины черной из полевой коллекции ВИР. Все этапы введения почек в качестве эксплантов в культуру *in vitro* проводили в соответствии с Методическими указаниями ВИР. Метеорологические данные были получены из отдела автоматизированных информационных систем генетических ресурсов растений ВИР. Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием пакета программ “Statistica 10.0”. **Результаты.** Выявлена высокая сопряженность между результативностью введения образцов в культуру *in vitro* и генотипом, а также месяцем и годом, в которые проводили отбор эксплантов. К метеорологическим факторам, влияющим на результативность введения образцов смородины черной в культуру *in vitro*, относятся: температура и влажность воздуха в день отбора почек и влажность воздуха за декаду перед взятием эксплантов. Продолжительность периода от начала вегетации растений в полевой коллекции до даты отбора почек также оказывала существенное влияние на результат введения образца в культуру *in vitro*. **Заключение.** В случае отбора почек в июне доля инфицированных эксплантов существенно ниже, а доля жизнеспособных – выше, по сравнению с почками, взятыми в последующие летние месяцы. Для успешного введения образцов из полевой коллекции в культуру *in vitro* оптимальными погодными условиями являются низкая влажность воздуха и относительно высокая температура в день отбора эксплантов, а также низкая влажность воздуха за декаду перед взятием почек с растений полевой коллекции.

Ключевые слова: *Ribes nigrum* L., сорта, генбанк, *in vitro* коллекция, метеорологические факторы, введение эксплантов в культуру *in vitro*

Благодарности: Статья подготовлена согласно тематическому плану ВИР по теме: № FGEM-2022-0004.

Для цитирования: Дунаева С.Е., Тихонова О.А., Малышев Л.Л., Гавриленко Т.А. Влияние сроков отбора почек и метеорологических факторов на результативность введения образцов смородины черной в культуру *in vitro*. *Биотехнология и селекция растений*. 2024;7(4):92-104. DOI: 10.30901/2658-6266-2024-4-01

Прозрачность финансовой деятельности: Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы. Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы.

© Дунаева С.Е., Тихонова О.А., Малышев Л.Л., Гавриленко Т.А., 2024

Original article

DOI: 10.30901/2658-6266-2024-4-01

The influence of the timing of bud collection and meteorological factors on the effectiveness of introducing black currant accessions into *in vitro* culture

Svetlana E. Dunaeva, Olga A. Tikhonova, Leonid L. Malyshev, Tatjana A. Gavrilenko

N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg Russia

Corresponding author: Tatjana A. Gavrilenko, tatjana9972@yandex.ru

Background. The introducing of the accessions from the field collection into *in vitro* culture ensures their preservation under controlled environmental conditions. The literature sources offer contradictive information on the seasonal periods considered as the optimal ones for introducing samples of black currant *Ribes nigrum* L. into *in vitro* culture. This may be due to both the influence of abiotic factors and the genotypic characters of the accessions, as well as the characteristics of the explants and their cultivation conditions. In this regard, the purpose of this study was to analyze the influence of the period of buds' isolation, and of the meteorological factors, such as temperature, precipitation, and humidity, on the results of introducing diverse black currant accessions from the field collection into *in vitro* culture. **Materials and methods.** The plant material included 30 black currant accessions from the VIR field collection. In different months of the summer periods of 2019-2022, buds were isolated from annual shoots to introduce them as explants into *in vitro* culture. All stages of introducing buds into *in vitro* culture were carried out in accordance with the Methodological Guidelines of VIR. Meteorological data were obtained from the VIR Department of Automated Information Systems for Plant Genetic Resources. The data were statistically processed using the "Statistica 10.0" package. **Results.** A strong contingency was found between the effectiveness of introducing explants into *in vitro* culture and the genotype, as well as the month and year in which the buds were selected. Meteorological factors influencing the results of introducing black currant explants into *in vitro* culture include temperature and air humidity on the day of bud collection and air humidity in the decade before taking explants. The duration of the period from the beginning of plants vegetation in the field collection to the date of bud sampling also had a significant impact on the result of introducing the explant into *in vitro* culture. **Conclusion.** In the case of bud selection in June, the proportion of infected explants is significantly lower, and the proportion of viable explants is higher, compared to buds taken in subsequent summer months. For the successful introducing of buds from a field collection into *in vitro* culture, the optimal weather conditions are low air humidity and relatively high temperature on the day of buds' collection, as well as low air humidity in the decade before taking buds from plants of the field collection.

Keywords: *Ribes nigrum* L., cultivars, gene bank, *in vitro* collection, meteorological factors, introduction of explants into *in vitro* culture

Acknowledgements: The research was performed in accordance with the Thematic Plan of VIR № FGEM-2022-0004.

For citation: Dunaeva S.E., Tikhonova O.A., Malyshev L.L., Gavrilenko T.A. The influence of the timing of bud collection and meteorological factors on the effectiveness of introducing black currant accessions into *in vitro* culture. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2024;7(4):92-104. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2024-4-01

Financial transparency: The authors have no financial interest in the presented materials or methods. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work. The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employers.

© Dunaeva S.E., Tikhonova O.A., Malyshev L.L., Gavrilenko T.A., 2024

Введение

Смородина черная (*Ribes nigrum* L.) относится к обширному роду *Ribes* L., насчитывающему около 150 видов, произрастающих в умеренной зоне Европы, Азии, Северной Африки, Северной и Южной Америки (Vitkovsky, 2003; Sedov, 2009). Смородина черная (*Ribes nigrum* L.) – одна из наиболее ценных ягодных культур. Популярность ее объясняется высокой продуктивностью, скороплодностью и относительной неприхотливостью при возделывании. Она занимает лидирующее положение среди ягодных культур по содержанию питательных и биологически активных веществ, отличается высокой витаминной ценностью плодов (Sokolov, Zamotaev, 1988; Samorodova-Bianki et al., 1992; Tikhonova et al., 2015; Lyashenko et al., 2019; Sun et al., 2021).

Межвидовые скрещивания смородины черной *R. nigrum* оказались достаточно успешными при гибридизации с 26 видами рода, но в формировании сортамента в той или иной степени принимали участие только 10 видов (Ogoltsova, 1992). Большинство же современных сортов создано с участием европейского и сибирского подвидов *R. nigrum* subsp. *europaeum* Jancz. и *R. nigrum* subsp. *sibiricum* E. Wolf, соответственно, смородины дикуши *R. dikuscha* Fisch. ex Turcz. и скандинавского эко-типа смородины черной.

В настоящее время в нашей стране и за рубежом насчитывают более 1200 сортов смородины черной (Knyazev et al., 2016). Ведущая роль в селекции культуры принадлежит отечественным ученым, которые за относительно непродолжительный период времени вывели сорта, отвечающие запросам производства, адаптированные к природно-климатическим условиям разных регионов нашей страны (Ogoltsova, 1992). Современные отечественные сорта отличаются высокой урожайностью, самоплодностью, сочетают устойчивость к болезням и вредителям с крупноплодностью и высоким содержанием витаминов. В Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, включено 222 сорта смородины черной, из них 221 сорт отечественной селекции (State Register..., 2024).

В мировых генбанках селекционный генофонд смородины черной сохраняется преимущественно в полевых коллекциях, из которых наиболее крупными являются коллекция Национального хранилища клоновой зародышевой плазмы – NCGR (США), включающая 1298 образцов (Jenderek et al., 2021) и коллекция ВИР, насчитывающая 1167 образцов. Приоритетные образцы сортов и гибридов полевых коллекций в виде дублетов и резервных копий сохраняются в контролируемых условиях: в клоновых *in vitro* коллекциях в виде микрорастений и в крио коллекциях в виде апексов и замороженных черенков. Видовое разнообразие рода сохраняется в ген-

банках в условиях низких температур в виде семян, а также в криобанках в виде зимующих почек.

Число образцов в коллекциях *in vitro*, как правило, невелико. В настоящее время в *in vitro* коллекции ВИР сохраняется 83 образца рода *Ribes*, в их числе 66 сортов различного генетического и эколого-географического происхождения, 11 гибридов, являющихся производными европейского и сибирского подвидов смородины черной и шесть образцов дикорастущих видов рода *Ribes* (Dunaeva et al., 2018). По численности образцов это одна из наиболее крупных коллекций, незначительно уступающая только *in vitro* коллекции национального клонового генбанка NCGR (США), включающей 134 образца рода *Ribes* (Genesys, 2024).

Приоритетными для дублирования в коллекции *in vitro* ВИР являются образцы, входящие в национальный каталог: отечественные сорта начального периода селекции; сорта российской селекции, образцы, зарегистрированные как номенклатурные стандарты в Гербарии культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений ВИР (WIR); источники и доноры хозяйственно ценных признаков; образцы диких родичей культурных растений.

При формировании дублетной *in vitro* коллекции смородины черной обычно в качестве эксплантов используют почки годовых побегов растений полевых коллекций. Разные авторы отмечают важное значение сезонного периода для отбора почек и их успешного введения в культуру *in vitro*. В качестве оптимальных указывают: февраль-апрель – период выхода почек из покоя (Kukharchik et al., 2016); весенний (Ishmuratova, Golovina, 2017; Matushkin et al., 2019; 2020), а также летний период – июнь и вторая половина августа (Shakhov et al., 2017).

Целью наших исследований являлось изучение влияния сроков отбора почек и влияния метеорологических факторов на результат введения в культуру *in vitro* тридцати образцов смородины черной различного происхождения.

Материалы и методы

Материал для исследований включал 30 образцов смородины черной, в том числе 28 селекционных сортов, а также единичные образцы межвидовых гибридов из полевой коллекции Пушкинских и Павловских лабораторий ВИР (Приложение 1/ Supplement 1)¹.

Почки годовых побегов образцов полевой коллекции вводили в культуру *in vitro* в июне 2019 и 2022 годов, а в 2020 и 2021 годах – в июне, июле и августе. В 2019, 2020 и 2021 годах срезанные побеги разделяли на примерно равные по длине части, базальную и апикальную, почки которых в качестве эксплантов отдельно вводили

¹ Приложения доступны в онлайн версии статьи/ Supplementary materials are available in the online version of the paper: DOI: 10.30901/2658-6266-2024-4-o1

в культуру *in vitro*. Все этапы введения образцов в культуру *in vitro* проводили в соответствии с Методическими указаниями ВИР (Dunaeva et al., 2017).

Почки погружали на 15 минут в ёмкость с мыльным водным раствором, промывали проточной водой 20 минут и стерилизовали 10 минут в растворе жидкого бытового хлорсодержащего отбеливателя АСЕ, разведенного дистиллированной водой в объёмном соотношении 1:9. Все процедуры проводили на шейкере. После стерилизации почки промывали в ламинар-боксе в трех сменах автоклавированной дистиллированной воды по 15 минут в каждой. Далее почки были высажены на питательную среду MS (Murashige, Skoog, 1962), дополненную 6-бензиламинопурином (6-БАП, 0,5 мг/л), индолил-3-масляной кислотой (0,1 мг/л), гибберелловой кислотой (0,1 мг/л), аскорбиновой кислотой в качестве антиоксидантного компонента (2 мг/л), сахарозой (30 г/л), агаром (7 г/л). Визуально выявляемые инфицированные почки удаляли в течение первых 10-20 дней. Через полтора месяца подсчитывали число эксплантов (почек), сформировавших как минимум один дополнительный побег; такие почки оценивались как жизнеспособные. Образцы, у которых культивируемые почки не проросли или проросшие побеги претерпевали некроз, вводили в культуру *in vitro* повторно в летний сезон текущего или последующего годов.

Микроразмножение побегов проводили в несколько этапов: для первого субкультивирования использовали питательную среду того же состава (см. выше), в последующих пассажах применяли питательную среду MS с сахарозой (30 г/л), агаром (7 г/л), дополненную 6-БАП в концентрации 1 мг/л. Сформировавшиеся розеточные побеги (высотой ~0,5 см.) пересаживали для элонгации на питательную среду MS того же состава, но с пониженной концентрацией 6-БАП (0,1 мг/л).

Микропобеги укореняли на питательной среде MS с половинной концентрацией макросолей, сахарозой (30 г/л), агаром (7 г/л). Растительный материал культивировали при температуре 20-23°C, фотопериоде 16 часов

и освещенности 5-7 клк. Хорошо развитые укорененные микрорастения регистрировали в *in vitro* коллекции ВИР.

Метеорологические данные, фиксируемые на метеостанции, расположенной на территории Пушкинских и Павловских лабораторий ВИР, были получены из отдела автоматизированных информационных систем генетических ресурсов растений ВИР.

Статистическая обработка данных включала: корреляционный анализ, дисперсионный анализ, анализ таблиц сопряженности и соответствий. Обработку данных проводили с использованием пакета Statistica 10.0.

Результаты

Процесс введения образцов смородины черной полевой коллекции в дублетную *in vitro* коллекцию включал шесть последовательных этапов (рис. 1): (1) – вычленение почек и их стерилизация, (2) – культивирование почек-эксплантов до образования побега, адаптация эксплантов к условиям *in vitro*, (3) – оценка перехода эксплантов к автономному развитию. Экспланты оценивали как жизнеспособные, если они образовывали первые дополнительные розеточные побеги, (4) – собственно микроразмножение, (5) – перенос отделенных розеточных побегов на среду для укоренения, (6) – оценка результативности введения образца в *in vitro* культуру. Результативность «+» – означает, что получены микрорастения, образец зарегистрирован в *in vitro* коллекции; результативность «-» означает остановку развития образца на одном из этапов 1-5.

По результатам введения в культуру *in vitro* экспериментальная выборка из 30 образцов смородины черной была разделена на три группы. Первую группу сформировали 18 образцов, успешно введенные в культуру *in vitro* при однократном отборе эксплантов с растений полевой коллекции, при этом 17 из них были введены в июне и только один (сорт 'Валентина') – в июле: варианты №№ 1-18 (Приложение 2/ Supplement 2). Вторую группу составили пять образцов, для которых отбор почек и их

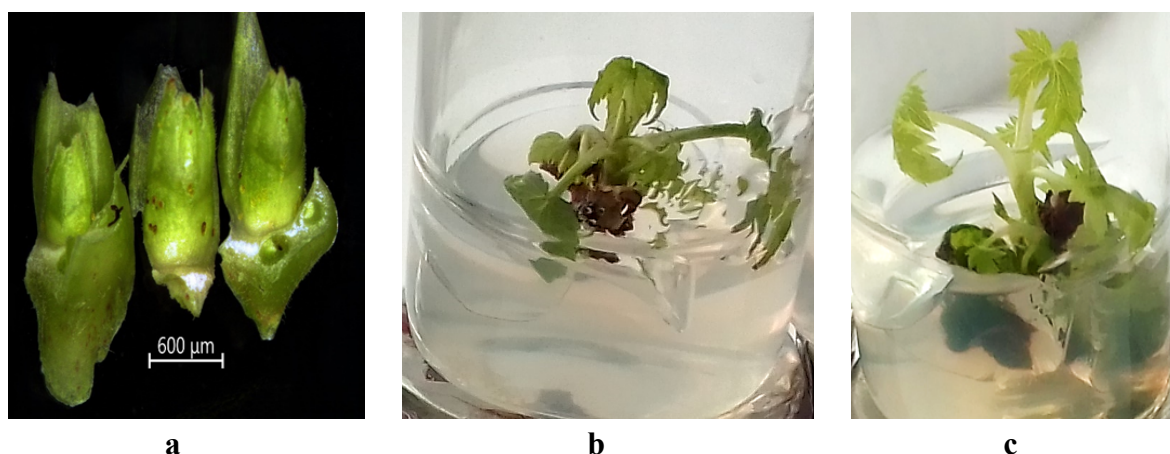


Рис. 1. продолжение на следующей старнице

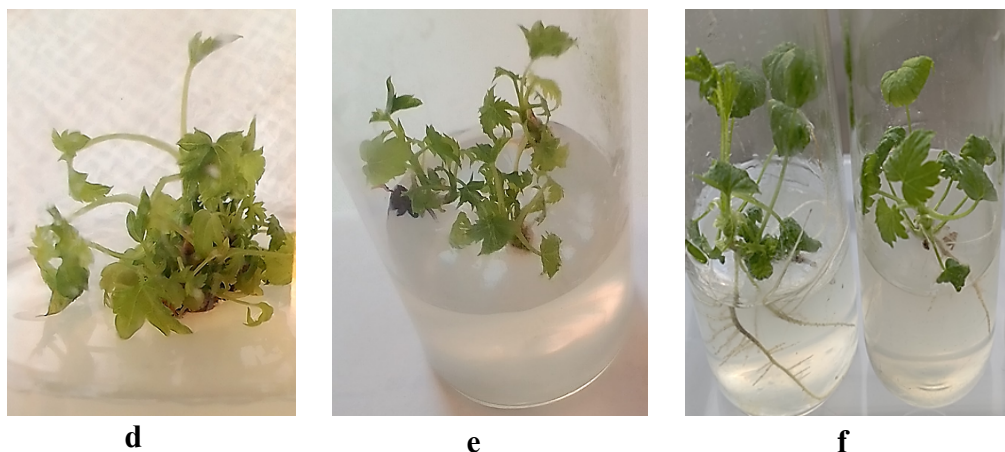


Рис. 1. Основные этапы введения образцов смородины черной в культуру *in vitro*

- a – вычлененные пазушные почки, используемые в качестве эксплантов (этап 1);
 b – адаптация экспланта к условиям культивирования *in vitro* (этап 2); c – образование дополнительного розеточного побега (этап 3);
 d – микроразмножение (этап 4); e – культивирование отделенных розеточных побегов на среде для укоренения (этап 5);
 f – сформировавшиеся микрорастения. Оценка результативности введения образца в культуру *in vitro* (этап 6)

Fig. 1. Sequential steps of introducing blackcurrant accessions into *in vitro* culture

- a – isolated axillary buds used as explants (stage 1); b – adaptation of the explant to *in vitro* culture conditions (stage 2);
 c – formation of an additional rosette shoot (stage 3); d – micropropagation (stage 4); e – cultivation of separated rosette shoots on rooting medium (stage 5); f – formed microplants. Evaluation of the effectiveness of introducing an accession into *in vitro* culture (stage 6)

культивирование *in vitro* в разные летние месяцы 2020 года было unsuccessful – варианты №№ 19-30 (см. Приложение 2/ Supplement 2). Эти образцы удалось ввести в *in vitro* коллекцию в следующем 2021 году – четыре образца в июне и один образец (сорт ‘Олеша’) в июле. В третью группу были объединены семь образцов, которые не удалось ввести в культуру *in vitro* даже в результате повторных отборов почек полевых растений, проведенных в летние месяцы 2019-2022 годов – варианты №№ 31-59 (см. Приложение 2/ Supplement 2).

На основании полученных четырехлетних данных мы оценили число и долю асептических и жизнеспособных эксплантов, вводимых в культуру *in vitro* в разные годы и месяцы летнего сезона.

Асептичность и жизнеспособность эксплантов. Число асептических почек подсчитывали на этапе 2, число жизнеспособных эксплантов – на этапе 3, а результативность введения образцов в культуру *in vitro* – на этапе 6 (см. рис. 1). Данные о характеристиках эксплантов 30 образцов смородины черной представлены в Приложении 2 (см. Приложение 2/ Supplement 2). Результаты статистического анализа показали, что среди почек, отобранных для *in vitro* культивирования в июне, доля асептических эксплантов была наиболее высокой, а различия между почками, взятыми с апикальной и базальной частей побега в июне, были не существенны (рис. 2). При отборе почек в июле и августе, доля асептических эксплантов снижалась, причем наиболее резко у почек, взятых с базальной части побегов (см. рис. 2).

Коэффициенты корреляции между числом асептических и жизнеспособных эксплантов различались в зави-

симости от месяца и года, но для всей выборки из 30 образцов, суммарно 1314 асептических эксплантов, из них 403 жизнеспособных, между этими показателями была получена достоверная связь ($r = 0,578$) (таблица). Низкий коэффициент корреляции, отмеченный в июне и в июле 2020 года, может означать влияние на жизнеспособность эксплантов каких-то других факторов.

Высокая доля жизнеспособных эксплантов на этапе 3 культивирования обуславливала высокую результативность введения образцов смородины черной в культуру *in vitro* ($F=74,2$; $p=0,001$; $HCP_{0,05}=11,4\%$). Так, в результативных вариантах введения образцов в культуру *in vitro*, доля жизнеспособных эксплантов составила $55,1 \pm 6,16\%$. В то же время, в нерезультативных вариантах жизнеспособность эксплантов на этапе 3 была низкой и составила $6,3 \pm 2,12\%$.

Основываясь на четырехлетних данных о числе полученных визуально асептических и жизнеспособных эксплантов, мы проанализировали влияние сроков отбора почек с образцов полевой коллекции, а также генотипических особенностей образцов и метеорологических факторов на результативность введения в культуру *in vitro* 30 образцов смородины черной.

Сроки введения эксплантов в культуру *in vitro*: год, месяц, период от начала вегетации полевых растений до отбора почек. При построении двумерной модели рассеяния и проведения анализа соответствий было отмечено существенное влияние на результативность введения образцов в культуру *in vitro* факторов «год» и «месяц» отбора почек (рис. 3). Наиболее успешные результаты были получены при отборе эксплантов в 2019

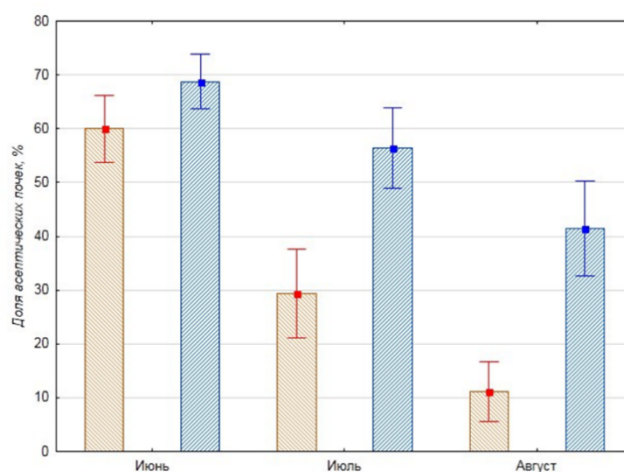


Рис. 2. Доля асептических почек, вводимых в культуру *in vitro* в разные месяцы летнего сезона

Условные обозначения: - почки с базальной части побега. - почки с апикальной части побега. На графике указаны доверительные интервалы для средних значений

Fig. 2. The proportion of aseptic buds introduced into *in vitro* culture in different months of the summer season

Designations: - buds from the basal part of a shoot; - buds from the apical part of a shoot. The graph shows confidence intervals for the mean values

Таблица. Значения коэффициентов корреляции (*r*) между числом визуально асептических и жизнеспособных эксплантов в изученной выборке образцов смородины черной

Table. The values of correlation coefficients (*r*) between the number of visually aseptic and viable explants of black currant accessions

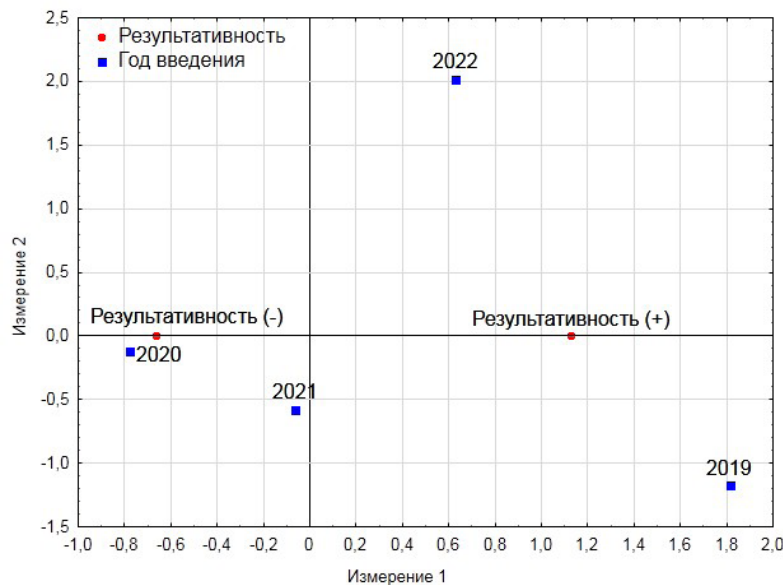
Месяц/ Month	Год/ Year	<i>r</i>	<i>p</i>
Июнь	2019	0,847*	0,008
Июнь	2020	0,123	0,793
Июнь	2021	0,572	0,066
Июнь	2022	0,176	0,605
Июль	2020	0,089	0,820
Июль	2021	0,545	0,633
Август	2020	<i>N/D</i>	<i>N/D</i>
За весь период наблюдений		0,578*	0,001

* – достоверно при $p < 0,05$ / significant at $p < 0,05$

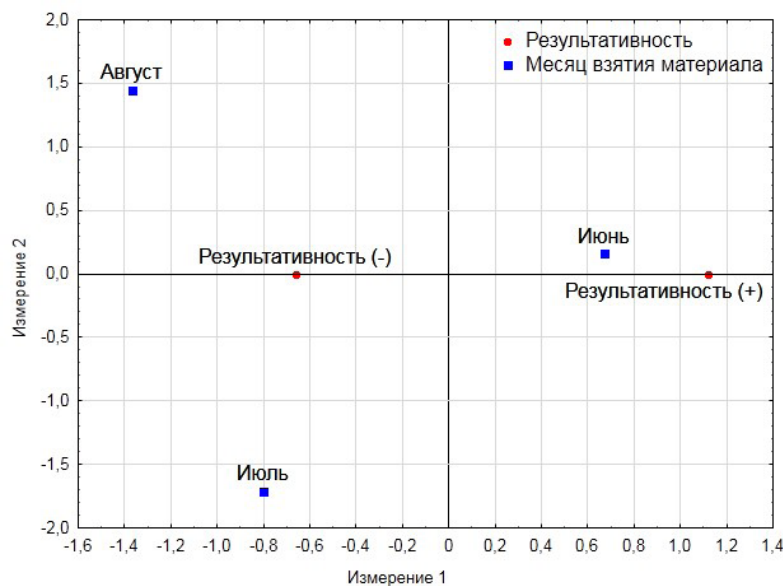
и 2022 годах (рис. 3а) и при введении эксплантов в культуру *in vitro* в июне (рис. 3б).

При изучении влияния фактора «продолжительность периода от начала вегетации образцов в полевой коллекции до даты отбора с них почек для введения в культуру *in vitro*» были использованы четырехлетние данные о продолжительности вегетационного периода 30 образцов смородины черной в полевой коллекции ВИР. Про-

должительность этого периода составила $59,1 \pm 2,34$ дней в вариантах, когда образцы были успешно введены в культуру *in vitro*, и $83,7 \pm 3,69$ дней в нерезультативных вариантах. Влияние продолжительности указанного периода на результативность введения образцов в культуру *in vitro* было достоверным ($F=19,7$; $p=0,001$; $HCP_{0,05}=11,1$).



а



б

Рис. 3. Рассеяние состояний признака «результативность введения образцов в культуру *in vitro*», в зависимости от (а) года и (б) месяца отбора почек с образцов полевой коллекции

Fig. 3. Dispersion of the states of the feature “effectiveness of introducing accessions into *in vitro* culture”, depending on (a) the year and (b) the month of sampling buds from the field collection

Выявлена высокая сопряженность между генотипом образцов и результативностью введения в культуру *in vitro* ($\chi^2=46,64$ достоверен при $p \leq 0,01$). В то же время, принадлежность образцов смородины черной к разным группам, отличающимся по происхождению (см. Приложение 1/ Supplement 1), не оказывала существенного влияния на результативность их введения в культуру *in vitro*. Расчеты проведены для 14 образцов, в родословных кото-

рых присутствовали образцы вида *R. dikuscha* ($\chi^2=0,007$, $p=0,932$), и 16 образцов, одними из предковых форм которых являлись образцы смородины черной сибирского подвида *R. nigrum* subsp. *sibiricum* ($\chi^2=1,664$, $p=0,197$).

Метеорологические условия в период вегетации растений полевой коллекции. Из метеорологических факторов для анализа были отобраны температура, коли-

чество осадков и влажность воздуха в период от начала вегетации растений полевой коллекции в апреле до окон-

чания отбора почек. Значения этих показателей в 2019-2022 годах приведены на рисунке 4.

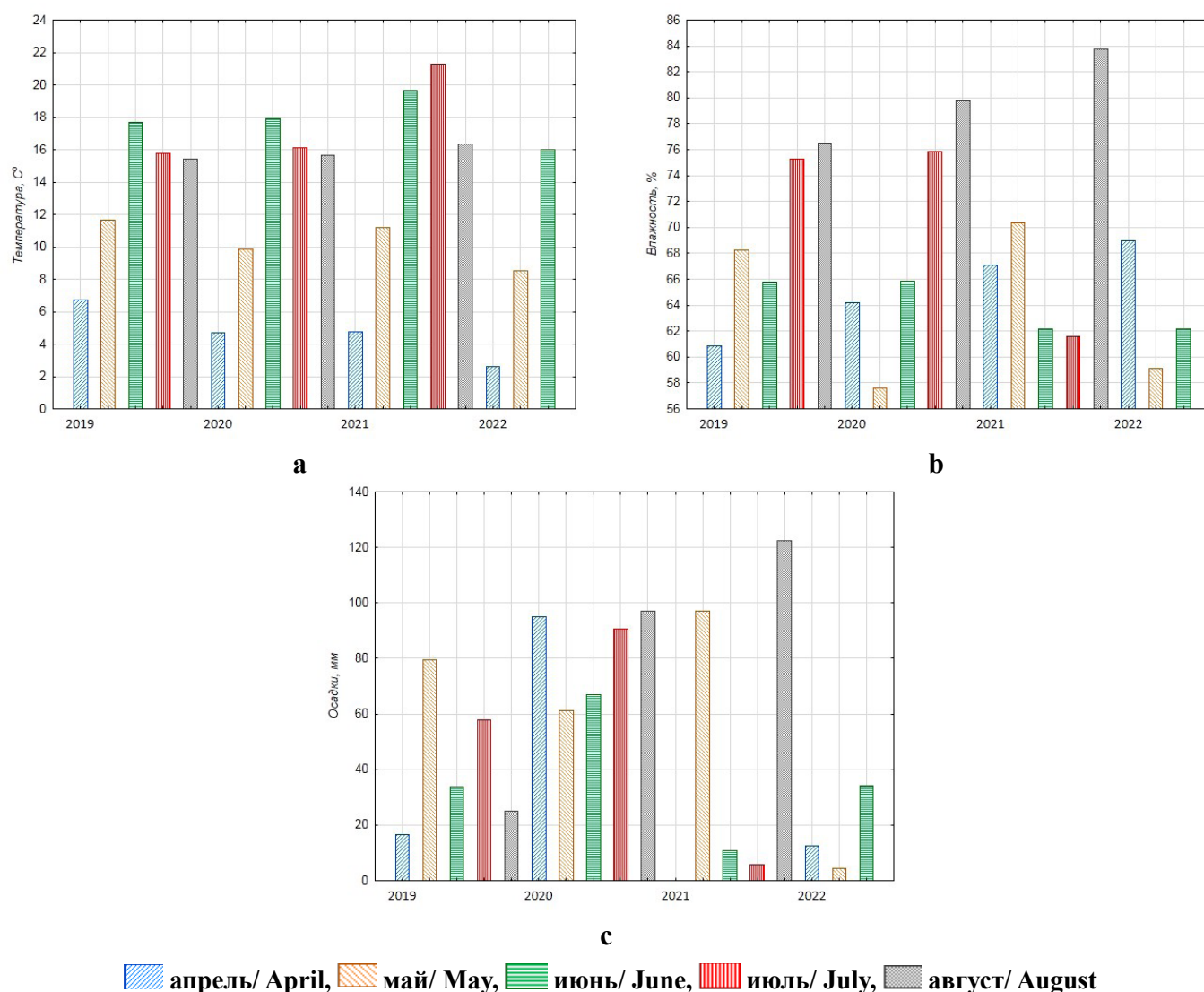


Рис. 4. Средние значения показателей температуры (а), влажности (б) и осадков (в) в период от начала вегетации растений полевой коллекции до окончания отбора почек в 2019-2022 годах

Fig. 4. Average values of temperature (a), humidity (b) and precipitation (c) during the period from the beginning of vegetation of plants in the field collection to the end of the bud sampling in 2019-2022

Для всей выборки была проведена оценка влияния на результативность введения образцов в культуру *in vitro* температуры, осадков, влажности, учитываемых в следующие сроки: (1) от начала вегетации образцов до отбора почек, (2) за декаду до отбора эксплантов, а также (3) в день отбора почек. Для (1) и (2) учитывали средние значения показателей за весь период. Полученные результаты представлены на рисунке 5 и в Приложении 3 (Приложение 3/ Supplement 3).

Как видно из данных, представленных на рисунке 5

и в Приложении 3 (см. Приложение 3/ Supplement 3), при положительных и отрицательных результатах введения образцов смородины черной в культуру *in vitro* достоверно различались показатели следующих метеорологических факторов: влажность воздуха в среднем за декаду перед отбором эксплантов, влажность воздуха в день отбора почек, средняя температура в период от начала вегетации до отбора почек и температура в день их отбора.

Таким образом, оптимальными метеорологическими

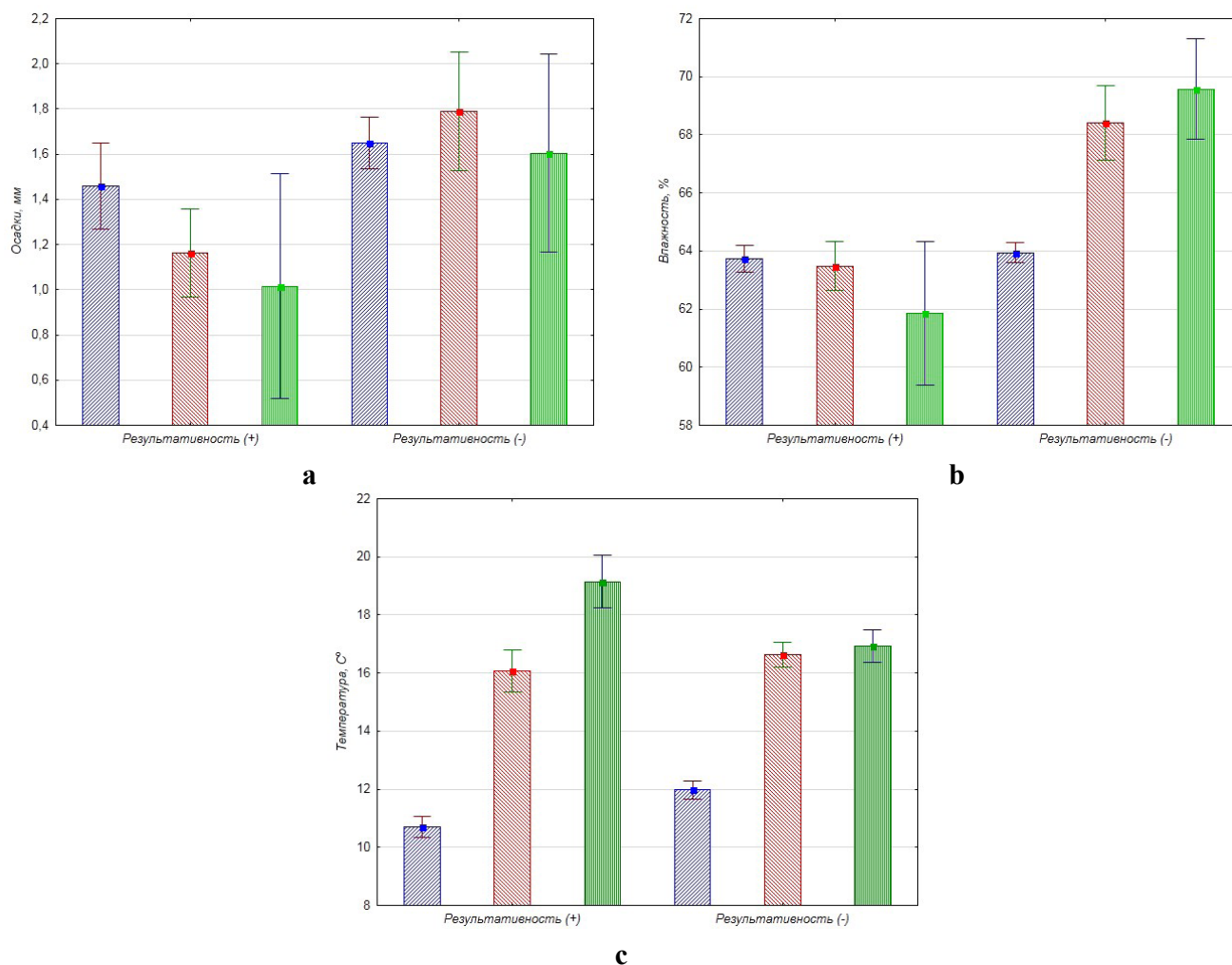


Рис. 5. Влияние метеорологических факторов на результативность введения образцов смородины черной в культуру *in vitro*

а – осадки, б – влажность, в – температура

Условные обозначения: – средние значения метеорологических показателей в период от начала вегетации до отбора эксплантов;

– средние значения метеорологических показателей за декаду, предшествующую отбору эксплантов;

– значения показателей в день отбора эксплантов

На графике указаны стандартные ошибки средних значений

Fig. 5. The effect of meteorological factors on the effectiveness of introducing black currant accessions into *in vitro* culture

a – precipitation, b – humidity, c – temperature

Designations: – average values of meteorological indicators during the period from the beginning of vegetation to the collection of explants;

– average values of meteorological indicators for ten days before the collection of explants;

– values on the day of collection of the explants

The graph shows standard errors of the mean values

факторами для успешного введения образцов смородины черной в культуру *in vitro* являются низкая влажность и относительно высокая температура в день отбора эксплантов с растений полевой коллекции. Количество осадков в целом существенного влияния на результативность введения образцов в культуру *in vitro* не имело.

Обсуждение

В литературе нет единого мнения об оптимальных сроках введения образцов смородины черной в культуру *in vitro*. Так, в ФГБНУ ВНИИ селекции плодовых культур (г. Орел) была выполнена серия работ по изучению характеристик эксплантов: инфицированность, некротизация и жизнеспособность – при введении в культуру *in vitro* четырех сортов смородины черной в разные сезоны 2018-

2021 годов. Почки отбирали в середине марта, в период выхода почек из состояния покоя в этом регионе, середине июня, в период активного роста побегов, в середине августа и в середине сентября, в период остановки роста побегов (Shakhov et al., 2017; Khromova et al., 2021; Khromova, Matsneva, 2022). В этих работах было отмечено, что экспланты, введенные в культуру *in vitro* в летний период, а именно в июне и в середине августа, характеризовались более высокой приживаемостью. При отборе почек в марте и в сентябре была отмечена большая доля инфицированных и подверженных некротизации эксплантов. Почки в период активного роста побегов были использованы для введения в культуру *in vitro* и другими авторами (Sorokopudov, Knyazeva, 2018; Matushkin, 2020). В то же время показано успешное развитие в культуре *in vitro* почек, отобранных с растений, находящихся в состоянии покоя (Kovaleva et al., 2019; Skovorodnikov et al., 2013; Lebedev, Skovorodnikov, 2016) и в стадии выхода из состояния покоя (Kukharchik et al., 2016). В нашей работе при отборе почек в июне выявлена более высокая их жизнеспособность по сравнению с отобранными в последующие летние месяцы, обусловившая более высокую результативность введения образцов в культуру *in vitro*. В июле-августе достоверно возрастала инфицированность почек, отобранных с базальной части побегов, что согласуется с данными других авторов, показавших на других культурах увеличение инфицированности и снижение жизнеспособности почек, по мере их удаления от верхушки побега (Hsia, Korban, 1996; Nobre et al., 2000; Arora et al., 2010).

В нашей работе выявлена высокая сопряженность между генотипом образцов и результативностью введения эксплантов в культуру *in vitro*, что согласуется с данными литературы. Так, существенное влияние генотипических особенностей было отмечено на разных этапах культивирования эксплантов смородины черной: на начальном этапе введения в культуру *in vitro* (Khromova et al., 2021), на этапах микроразмножения (Skovorodnikov et al., 2013) и укоренения (Matushkin, 2019), а также в ответной реакции эксплантов на разный состав питательных сред (Vershina, Byadovsky, 2020). Поэтому в отдельных исследованиях подбор питательной среды проводили индивидуально для определенного сорта (Ishmuratova, Golovina, 2017; Sorokopudov, Knyazeva, 2018).

В большинстве известных нам работ для введения эксплантов смородины черной в культуру *in vitro* и последующего микроразмножения использовали питательную среду MS (Murashige, Skoog, 1962) с добавлением 6-БАП в концентрации, варьирующей в диапазоне от 0,5 мг/л до 1 мг/л или дополненную другими регуляторами роста (Orazbaeva et al., 2012; Vujović et al., 2012; Kovaleva et al., 2019; Ishmuratova, Golovina, 2017; Guseva, 2020; Vershinina, Byadovsky, 2020). Следует отметить, что в цитируемых работах исследования проводили либо на единичных образцах, либо на сравнительно небольшом

числе сортов (от одного до 13).

При формировании *in vitro* коллекций в генбанках, включающих большое число образцов смородины черной разного генетического и эколого-географического происхождения, не целесообразно проводить индивидуальный подбор условий культивирования. Важно выявлять факторы, оказывающие существенное влияние на успех введения различных образцов в культуру *in vitro*.

Влияние метеорологических факторов в период вегетации растений полевой коллекции на жизнеспособность почек в культуре *in vitro* практически не изучали. Нам известна только одна публикация (Khromova et al., 2021), в которой в течение четырех лет (2018-2021 годы) в разные сезоны изучали влияние погодных факторов, таких как температура и осадки, на долю эксплантов, жизнеспособных и подверженных некротизации в культуре *in vitro*. Эти характеристики эксплантов различались в зависимости от года проведения экспериментов. Авторы отмечали, что при отборе почек в весенний и осенний периоды развитие эксплантов зависело от состояния почек, связанного с периодом покоя и влиянием на него агроклиматических условий. В то же время почки, введенные в культуру *in vitro* в летние месяцы, отличались более высокой приживаемостью. В нашей работе выявлено достоверное положительное влияние на результативность введения образцов в культуру *in vitro* относительно высокой температуры в день взятия почек, а также низкой влажности в день отбора почек и за декаду перед этим.

В настоящей работе из 30 образцов выборки семь сортов смородины черной так и не удалось ввести в культуру *in vitro* в 2019-2022 годах по причинам высокой доли подверженных некрозу асептических эксплантов или слабого развития и некротизации микроразмножения. В дальнейшей работе будет уделено внимание фитосанитарному статусу и физиологическому состоянию растений этих сортов в полевой коллекции. Не исключено, что для этой группы образцов будет использован модифицированный протокол введения эксплантов в культуру *in vitro*.

Заключение

На основании четырехлетнего изучения результатов введения в культуру *in vitro* 30 образцов смородины черной из полевой коллекции ВИР получены следующие данные.

Показана достоверная сопряженность результата введения образцов в культуру *in vitro* с факторами «месяц» и «год» отбора эксплантов и «генотип образца». Доля инфицированных эксплантов была ниже, а доля жизнеспособных – выше, в случае отбора почек в июне по сравнению со взятыми в последующие летние месяцы. Наиболее успешные результаты были получены при отборе эксплантов в 2019 и 2022 годах. Продолжительность периода от начала вегетации растений в полевой коллекции до даты отбора почек также оказывала существенное

влияние на результат введения образца в культуру *in vitro*.

Выявлены метеорологические факторы, влияющие на результативность введения образцов смородины черной в культуру *in vitro*. К ним относятся: температура и влажность воздуха в день отбора почек; влажность воздуха в среднем за декаду перед взятием эксплантов; продолжительность вегетационного периода растений от начала вегетации до даты отбора почек, а также доля жизнеспособных эксплантов на начальном этапе культивирования.

References/Литература

- Arora K., Sharma M., Srivastava J., Ranade S.A., Sharma A.K. Rapid *in vitro* cloning of a 40-year-old tree of *Azadirachta indica* A. Juss. (Neem) employing nodal stem segments. *Agroforestry Systems*. 2010;78:53-63. DOI: 10.1007/s10457-009-9230-1
- Dunaeva S.E., Pendinen G.I., Antonova O.Yu., Shvachko N.A., Ukhatoeva Y.V., Shuvalova L.E., Volkova N.N., Gavrilenko T.A. Preservation of Vegetatively Propagated Crops in *in vitro* and Cryo Collections: Methodological Guidelines. (Sokhraneniye vegetativno razmnzhayemykh kultur v *in vitro* i krio kollekttsiyakh: metodicheskiye ukazaniya) T.A. Gavrilenko (ed.). 2nd ed. St. Petersburg: VIR; 2017. [in Russian] (Дунаева С.Е., Пендинен Г.И., Антонова О.Ю., Швачко Н.А., Ухатова Ю.В., Шувалова Л.Е., Волкова Н.Н., Гавриленко Т.А. Сохранение вегетативно размножаемых культур в *in vitro* и крио коллекциях: методические указания / под ред. Т.А. Гавриленко. 2-е изд. Санкт-Петербург: ВИР; 2017).
- Dunaeva S.E., Orlova S.Yu., Tikhonova O.A., Gavrilenko T.A. *In vitro* collection of berry and fruit crops and their wild relatives at VIR. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2018;1(1):43-51. [in Russian] (Дунаева С.Е., Орлова С.Ю., Тихонова О.А., Гавриленко Т.А. Образцы ягодных и плодовых культур и их дикорастущих родичей в коллекции *in vitro* ВИР. *Биотехнология и селекция растений*. 2018;1(1):43-51). DOI: 10.30901/2658-6266-2018-1-43-51
- Genesys. Available from: <https://www.genesys-pgr.org/a/overview/v2aKq7O7Vl4> [accessed Aug. 22, 2024].
- Guseva K.Yu. Clonal micropropagation of black currant (*Ribes nigrum* L.) *Problems of Botany of Southern Siberia and Mongolia*. 2020;19(2):5-10. [in Russian] (Гусева К.Ю. Клональное микроразмножение смородины черной (*Ribes nigrum* L.). *Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии*. 2020;19(2):5-10). DOI: 10.14258/pbssm.2020064
- Hsia C.N., Korban S.S. Factors affecting *in vitro* establishment and shoot proliferation of *Rosa hybrida* L. and *Rosa chinensis minima*. *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*. 1996;32(4):217-222. DOI: 10.1007/bf02822690
- Ishmuratova M.M., Golovina L.A. Reproduction of black currant varieties (*Ribes nigrum*) of Bashkir breeding in *in vitro* culture (Razmnzheniye sortov smorodiny chernoy (*Ribes nigrum*) Bashkirskoy selektzii v kul'ture *in vitro*). *Bulletin of Udmurt University*. 2017;24(4):455-461. [in Russian] (Ишмуратова М.М., Головина Л.А. Размножение сортов смородины черной (*Ribes nigrum*) Башкирской селекции в культуре *in vitro*. *Вестник Удмуртского университета*. 2017;24(4):455-461).
- Jenderek M.M., Yeater K.M., Ambruzs B.D., Bushakra J., Hummer K.E. Cryopreservation of various *Ribes* species by dormant winter buds. *Scientia Horticulturae*. 2021;289(6):10496. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110496
- Khromova T.M., Matsneva O.V. Optimization of berry crop genotype regeneration systems at the *in vitro* crop initiation stage. *BIO Web of Conferences*. 2022;47:4004. DOI: 10.1051/bioconf/20224704004
- Khromova T.M., Tashmatova L.V., Matsneva O.V., Shakhov V.V. Influence of climatic conditions of the introduction period and varietal characteristics of black currant (*Ribes nigrum* L.) on the effectiveness of culture initiation *in vitro*. International Scientific and Practical Conference "Fundamental Scientific Research and Their Applied Aspects in Biotechnology and Agriculture" (FSRAABA). *BIO Web of Conferences*. 2021;36:04010. DOI: 10.1051/bioconf/20213604010
- Knyazev S.D., Levgerova N.S., Makarkina M.A., Pikunova A.V., Salina E.S., Chekalin E.I., Yanchuk T.V., Shavyrkina M.A. Black Currant Breeding. Methods, Achievements, Directions. Orel: VNIISPK; 2016. (Selektsiya chernoy smorodiny. Metody, dostizheniya, napravleniya. Orel: VNIISPK; 2016. [in Russian] (Князев С.Д., Левгерова Н.С., Макаркина М.А., Пикунцова А.В., Салина Е.С., Чекалин Е.И., Янчук Т.В., Шавыркина М.А. Селекция черной смородины. Методы, достижения, направления. Оре́л: ВНИИСПК; 2016).
- Kovaleva I.S., Matsneva A.E., Khanbabaeva O.E., Mazaeva A.S. Introduction into *in vitro* culture and clonal micropropagation of promising black currant seedling (*Ribes nigrum* L.). (Vvedenie v kul'turu *in vitro* i klonal'noe mikrorazmnzheniye perspektivnogo seyantsa smorodiny chernoy (*Ribes nigrum* L.). *Bulletin of KrasSAU*. 2019;12:43-48. [in Russian] (Ковалева И.С., Матснева А.Е., Ханбабаева О.Е., Мазеева А.С. Введение в культуру *in vitro* и клональное микроразмножение перспективного сеянца смородины черной (*Ribes nigrum* L.). *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. 2019;12:43-48). DOI: 10.36718/1819-4036
- Kukharchik N.V., Kastritskaya M.S., Semenas S.E., Kolbanova E.V., Krasinskaya T.A., Volosevich N.N., Solovey O.V., Zmushko A.A., Bozhidai T.N., Rundya A.P., Malinovskaya A.M. Propagation of fruit and berry plants in *in vitro* culture. In N.V. Kukharchik (Ed.). Minsk: Belarusian Science; 2016. [in Russian] (Кухарчик Н.В., Кастрицкая М.С., Семенов С.Э., Колбанова Е.В., Красинская Т.А., Волосевич Н.Н., Соловей О.В., Змушко А.А., Божидай Т.Н., Рундя А.П., Малиновская А.М. Размножение плодовых и ягодных растений в культуре *in vitro* / под ред. Н.В. Кухарчик. Минск: Беларуская навука; 2016).
- Lebedev A.A., Skovorodnikov D.N. Optimization of conditions for clonal micropropagation of *Ribes nigrum* L. (*Grossulariaceae*) (Optimizatsiya usloviy klonal'nogo mikrorazmnzheniya *Ribes nigrum* L. (*Grossulariaceae*). *Bulletin of Bryansk Department of Russian Botanical Society*. 2016;1(7):61-64. [in Russian] (Лебедев А.А., Сковородников Д.Н. Оптимизация условий клонального микроразмножения *Ribes nigrum* L. (*Grossulariaceae*). *Бюллетень Брянского отделения Русского ботанического общества*. 2016;1(7):61-64).
- Lyashenko S., González-Fernández M.J., Gómez-Mercado F., Yunusova S., Denisenko O., Guil-Guerrero J.L. *Ribes* taxa: a promising source of γ -linolenic acid-rich functional oils. *Food Chemistry*. 2019;301:25-309. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125309
- Matushkin S.A. Influence of genotype on rhizogenesis of currant varieties *in vitro*. (Vliyanie genotipa na rizogenez sortov smorodiny *in vitro*). *Selektsiya i sortorazvedeniye sadovykh kul'tur = Breeding and Variety Breeding of Horticultural Crops*. 2019;6(1):72-73. [in Russian] (Матушкин С.А. Влияние генотипа на ризогенез сортов смородины *in vitro*. *Селекция и сорторазведение садовых культур*. 2019;6(1):72-73).
- Matushkin S.A. The influence of growth regulators on the elongation of microshoots of black currant varieties. (Vliyanie regulatoryrov rosta na udlineniye mikropobegov sortov smorodiny chernoy). *Selektsiya i sortorazvedeniye sadovykh kul'tur = Selection and Variety Breeding of Horticultural Crops*. 2020;7(1-2):105-108. [in Russian] (Матушкин С.А. Влияние регуляторов роста на удлинение микропобегов сортов смородины черной. *Селекция и сорторазведение садовых культур*. 2020;7(1-2):105-108). DOI: 10.24411/2500-0454-2020-11227
- Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*. 1962;15:473-497. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x
- Nobre J., Santos C., Romano A. Micropropagation of the Mediterranean species *Viburnum tinus*. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*. 2000;60:75-78. DOI: 10.1023/A:1006405700121
- Ogoltsova T.P. Black Currant Breeding: Past, Present, and Future (*Selektsiya chernoy smorodiny – proshloye, nastoyashcheye, budushcheye*). Tula; 1992. [in Russian] (Огольцова Т.П. Селекция черной смородины – прошлое, настоящее, будущее.

- Тула; 1992).
- Orazbaeva G.K., Khasanov V.T., Iskakov A.R., Shvidchenko V.K. Clonal propagation of black currant plants (*Ribes nigrum* L.) *in vitro* (Klonalnoye razmnozheniye rastenii chernoy smorodiny *Ribes nigrum* L. *in vitro*). *Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University*. 2012;1(72):115-124. [in Russian] (Оразбаева Г.К., Хасанов В.Т., Исаков А.Р., Швидченко В.К. Клональное размножение растений черной смородины (*Ribes nigrum* L.) *in vitro*. *Вестник науки КазАТУ им. С. Сейфуллина*. 2012;1(72):115-124).
- Samorodova-Bianki G.B., Streltsina S.A., Zdorenko N.A. Fruits and berries as valuable source of substances improving resistance in the organism of a man to extreme conditions. *Research Bulletin of the All-Russian N.I. Vavilov Institute of Plant Industry*. 1992;229:65-68. [in Russian] (Самородова-Бианки Г.Б., Стрельцина С.А., Здоренко Н.А. Плоды и ягоды как ценный источник веществ, повышающих устойчивость организма человека к экстремальным факторам. *Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института растениеводства им. Н.И. Вавилова*. 1992;229:65-68).
- Shakhov V.V., Tashmatova L.V., Matsneva O.V. Comparative characteristics of the timing of introduction of black currant (*Ribes nigrum* L.) explants into *in vitro* culture (Sravnitel'naya kharakteristika srokov vvedeniya eksplantov chernoy smorodiny (*Ribes nigrum* L.) v kul'turu *in vitro*). *Sovremennoe sadovodstvo = Contemporary Horticulture*. 2017;4:102-105. [in Russian] (Шахов В.В., Ташматова Л.В., Мацнева О.В. Сравнительная характеристика сроков введения эксплантов черной смородины (*Ribes nigrum* L.) в культуру *in vitro*. *Современное садоводство*. 2017;4(24):102-105). DOI: 10.24411/2218-5275-2017-00039
- Sedov E.N. (ed.). Pomology. Vol. 4. Currant. Gooseberry (Pomologiya. T. IV. Smorodina. Kryzhovnik). O.D. Golyaeva (vol. ed.). Orel: VNIISP Publisher; 2009. [in Russian] (Помология. Т. 4. Смородина. Крыжовник / ред. Е.Н. Седов; ред. т. О.Д. Голяева. Орел: Изд-во ВНИИСПК; 2009).
- Skovorodnikov N.A., Sazonov F.F., Lebedev A.A. Effect of genotype of the black currant on the efficiency of propagation in culture *in vitro*. *Vestnik OrelGAU*. 2013;(2):58-61.
- Sokolov S.Ya., Zamotaev I.P. Handbook of Medicinal Plants (Spravochnik po lekarstvennym rasteniyam). Moscow; 1988. [in Russian] (Соколов С.Я., Замотаев И.П. Справочник по лекарственным растениям. Москва; 1988).
- Sorokopudov V., Knyazeva I. Preserving sanitized plants of black currant in order to create genetic banks. *Subtropical and Ornamental Horticulture*. 2018;65:87-92. [in Russian] (Сорокопудов В.Н., Князева И.В. Сохранение оздоровленных растений смородины черной для создания генетических банков. *Субтропическое и декоративное садоводство*. 2018;65:87-92). DOI: 10.31360/2225-3068-2018-65-87-92
- State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1. "Plant varieties" (official publication). Moscow: Ministry of Agriculture of Russia; Gossortkomissiya; 2024. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). Москва: Министерство сельского хозяйства России; Госсорткомиссия; 2024).
- Sun Q., Wang N., Xu W., Zhou H. Genus *Ribes* Linn. (*Grossulariaceae*): A comprehensive review of traditional uses, phytochemistry, pharmacology and clinical applications. *Journal of Ethnopharmacology*. 2021;276:114-166. DOI: 10.1016/j.jep.2021.114166
- Tikhonova O.A., Shelenga T.V., Streltsina S.A. Biochemical composition of black currant berries in the Russian North-West. *Breeding and Variety Cultivation of Fruit and Berry Crops: Materials of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 170th Anniversary of VNIISP*; 2015 June 02-05; Orel, Russia. Orel; 2015. Vol. 2. p.203-206. [in Russian] (Тихонова О.А., Шеленга Т.В., Стрельцина С.А. Биохимический состав ягод черной смородины на Северо-Западе России. *Селекция и сорторазведение садовых культур: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 170-летию ВНИИСПК*; 02-05 июня 2015 г.; Орел, Россия. Орел; 2015. Т. 2. С.203-206).
- Vershinina O.V., Byadovsky I.A. Peculiarities of the development of explants *Rubus idaeus* L. and *Ribes nigrum* L. promising varieties of breeding of Federal Research Center for Horticulture at the stage of introduction to culture *in vitro*. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2020;63(1):44-52. [in Russian] (Вершинина О.В., Бьядовский И.А. Особенности развития эксплантов *Rubus idaeus* L. и *Ribes nigrum* L. перспективных сортов селекции ФГБНУ ФНЦ садоводства на этапе введения в культуру *in vitro*. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2020;63(1):44-52). DOI: 10.31676/2073-4948-2020-63-44-52
- Vitkovsky V.L. Fruit Plants of the World. St. Petersburg; Moscow; Krasnodar: Lan; 2003. [in Russian] (Витковский В.Л. Плодовые растения мира. Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань; 2003).
- Vujović T., Ruzic D., Cerović R. Improvement of *in vitro* micropropagation of black currant Čačanska Crna. *Acta Horticulturae*. 2012;946:123-128. DOI: 10.17660/ActaHortic.2012.946.17

Информация об авторах

Светлана Ефимовна Дунаева, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, отдел биотехнологии, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, dunaevase@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7002-8066>

Ольга Анатольевна Тихонова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, отдел генетических ресурсов плодовых культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, o.tikhonova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0319-1477>

Леонид Леонидович Малышев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, отдел овса, ржи, ячменя, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, l.malyshhev@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8595-1336>

Татьяна Андреевна Гавриленко, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, отдел биотехнологии, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, tatjana9972@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2605-6569>

Information about the authors

Svetlana E. Dunaeva, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Biotechnology Department, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, dunaevase@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7002-8066>

Olga A. Tikhonova, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Department of Fruit Crop Genetic Resources, N.I. Vavilov All-Russian Institute

of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, o.tikhonova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0319-1477>

Leonid L. Malyshev, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Department of Oats, Rye, Barley, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, l.malyshev@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8595-1336>

Tatjana A. Gavrilenko, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, Biotechnology Department, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, tatjana9972@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2605-6569>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 05.08.2024; одобрена после рецензирования 14.10.2024; принята к публикации 30.11.2024.

The article was submitted on 05.08.2024; approved after reviewing on 14.10.2024; accepted for publication on 30.11.2024.