

## Оригинальные статьи / Original articles

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-5-49-61>  
УДК 634.739.2:573.6

И.В. Нечипоренко<sup>1,2\*</sup>,  
С.В. Акимова<sup>1,2\*</sup>, П.О. Казаков<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49

<sup>2</sup> Всероссийский Научно-Исследовательский Институт Фитопатологии 143050, Россия, Московская область, Одинцовский район, Большой Вязьмы, ул. Институт

\*Авторы для переписки:  
vannechiporenko@gmail.com,  
akimova@rgau-msha.ru, paulkazako@gmail.com

**Финансирование:** Данное исследование финансировалось программой развития Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева «Агропрорыв-2030» в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» (№ 075-15-2021-1160).

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

**Вклад авторов:** Существенный вклад в замысел и дизайн исследования, сбор данных или анализ и интерпретацию данных Казаков П.О., С.В. Акимова, Нечипоренко И.В. Подготовка статьи и ее критический пересмотр в части значимого интеллектуального содержания. Нечипоренко И.В., С.В. Акимова. Окончательное одобрение варианта статьи для опубликования С.В. Акимова.

**Для цитирования:** Нечипоренко И.В., Акимова С.В., Казаков П.О. Особенности доращивания *ex vitro* растений клюквы болотной (*Vaccinium oxycoccos* L.) с закрытой корневой системой. *Овощи России*. 2023;(5):49-61.  
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-5-49-61>

**Поступила в редакцию:** 20.06.2023

**Принята к печати:** 29.08.2023

**Опубликована:** 29.09.2023

I.V. Nechiporenko<sup>1,2\*</sup>, S.V. Akimova<sup>1,2\*</sup>,  
P.O. Kazakov<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy Timiryazevskaya street, 49, Moscow, 127434, Russia

<sup>2</sup> All-Russian Phytopathology Research Institute St. Institute, Big Vyazyomy, Odintsovo district, Moscow region, 143050, Russia

\*Correspondence Authors:  
vannechiporenko@gmail.com,  
akimova@rgau-msha.ru, paulkazako@gmail.com

**Funding.** This research was funded by the program of development of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy "Agroproryv-2030" during the strategic academic leadership program "Priority-2030" (№ 075-15-2021-1160).

**Conflict of interest.** The authors have no conflicts of interest to declare.

**Author contributions:** Significant contributions to study design and design, data collection, or data analysis and interpretation Kazakov P.O., Akimova S.V., Nechiporenko I.V. Preparation of the article and its critical revision in terms of significant intellectual content Nechiporenko I.V., Akimova S.V. Final approval of the article version for publication Akimova S.V.

**For citations:** Nechiporenko I.V., Akimova S.V., Kazakov P.O. Peculiarities of *ex vitro* growing completion of bog cranberry (*Vaccinium oxycoccos* L.) with a closed root system. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(5):49-61. (In Russ.)  
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-5-49-61>

**Received:** 20.06.2023

**Accepted for publication:** 29.08.2023

**Published:** 29.09.2023:

## Особенности доращивания *ex vitro* растений клюквы болотной (*Vaccinium oxycoccos* L.) с закрытой корневой системой



### Резюме

**Актуальность.** Предпосылки к выращиванию клюквы болотной (*Vaccinium oxycoccos* L.) в промышленных насаждениях влечёт за собой рост спроса на высококачественный посадочный материал, получаемый методом клонального микропомножения (*in vitro*). Были проведены исследования по доращиванию *ex vitro* растений клюквы с использованием различных минеральных удобрений и типов освещённости в условиях защищенного грунта.

**Методы.** Объектами исследований служили *ex vitro* растения отборной формы клюквы болотной (*Vaccinium oxycoccos* L.), полученные при помощи технологии клонального микропомножения. Высадку опытных адаптированных растений клюквы проводили в контейнеры объёмом 0,5 л в торфяной субстрат 'Veltorf' с кислотностью не менее pH 3,5-4,0, в который по вариантам добавляли минеральные удобрения: АПАВИВА N<sub>15</sub>P<sub>15</sub>K<sub>15</sub>(S<sub>10</sub>) 0,08 и 0,16 г/л, Сульфаммофос N<sub>16</sub>P<sub>20</sub>(S<sub>12</sub>) 0,072 и 0,144 г/л, N<sub>12</sub>P<sub>52</sub> 0,1 и 0,2 г/л, контроль без удобрений. Растения размещали в условиях с различным видом освещённости: под светодиодными фитолампами (UnionPowerStar – 40W-T) с фотопериодом 16 часов и при естественном освещении (без использования дополнительного освещения) в тепличных условиях.

**Результаты.** Установлено, что при доращивании в контейнерах *ex vitro* растения клюквы болотной отборной формы (*Vaccinium oxycoccos* L.) выявлено преимущество светодиодных фитоламп, при применении которых во всех опытных вариантах на 42-й день доращивания морфометрические показатели развития растений были почти в 2 раза выше, чем у растений, доращиваемых при естественном освещении. Тип минеральных удобрений и уровень освещённости достоверно повлияли на суммарную длину побегов (82,9±13,74-107,4±35,95 см против 58,6±20,92 см в контроле) и площадь листовой поверхности (41,1±6,46-54,1±4,67 см<sup>2</sup> против 22,9±9,63 см<sup>2</sup> в контроле).

**Заключение.** Полученные нами результаты способствовали лучшему представлению условий доращивания *ex vitro* растений клюквы болотной (*Vaccinium oxycoccos* L.) с использованием различных типов освещения (фитоосвещение с 16-часовым фотопериодом и естественным освещением – без добавления дополнительного освещения) и подбора оптимальных доз минерального питания. Лучшими, при светодиодном освещении, вариантами были N<sub>16</sub>P<sub>20</sub>(S<sub>12</sub>) в концентрации 0,072 г/л и N<sub>15</sub>P<sub>15</sub>K<sub>15</sub>(S<sub>10</sub>) в концентрации 0,16 г/л.

**Ключевые слова:** клюква болотная, *ex vitro*, доращивание, светодиодное освещение, минеральные удобрения

## Peculiarities of *ex vitro* growing completion of bog cranberry (*Vaccinium oxycoccos* L.) with a closed root system

### Abstract

**Timeliness.** The prerequisites for the cultivation of bog cranberry (*Vaccinium oxycoccos* L.) in industrial plantations have led to an increased demand for high quality planting material obtained by clonal micropropagation (*in vitro*). Studies have been carried out on the of *ex vitro* growing completion of cranberry plants using different mineral fertilizers and types of light under greenhouse conditions.

**Methods.** *Ex vitro* plants of a selected form of cranberry (*Vaccinium oxycoccos* L.) obtained using the clonal micropropagation technique were the objects of research. Experimental adapted cranberry plants were planted in 0.5 L containers in 'Veltorf' peat substrate with an acidity of at least pH 3.5-4.0, to which mineral fertilizers were added according to the variants: АПАВИВА N<sub>15</sub>P<sub>15</sub>K<sub>15</sub>(S<sub>10</sub>) 0.08 and 0.16 g/L, Sulfoammophos N<sub>16</sub>P<sub>20</sub>(S<sub>12</sub>) 0.072 and 0.144 g/L, N<sub>12</sub>P<sub>52</sub> 0.1 and 0.2 g/L, control without fertilizer. The plants were placed under different types of light: under LED phytolamps (UnionPowerStar – 40W-T) with a photoperiod of 16 hours and under natural light (without the use of additional lighting) under greenhouse conditions.

**Results.** It was found that during of the *ex vitro* growing completion of bog cranberry (*Vaccinium oxycoccos* L.) plants in containers, the advantage of LED phytolamps was revealed, when using them in all experimental variants on the 42<sup>nd</sup> day of growing the morphometric indicators of plant development were almost 2 times higher than in plants grown under natural light. The type of mineral fertilizers and type light significantly influenced the total length of shoots (82.9±13.74-107.4±35.95 cm vs. 58.6±20.92 cm in control) and leaf surface area (41.1±6.46-54.1±4.67 cm<sup>2</sup> vs. 22.9±9.63 cm<sup>2</sup>).

**Conclusion.** The results we obtained contributed to a better representation of the *ex vitro* growing conditions of bog cranberry (*Vaccinium oxycoccos* L.) plants using different types of lighting (phyto-lighting with a 16-hour photoperiod and natural light – without adding additional light) and the selection of optimal doses of mineral nutrition. The best, under LED lighting, were N<sub>16</sub>P<sub>20</sub>(S<sub>12</sub>) at a concentration of 0.072 g/L and N<sub>15</sub>P<sub>15</sub>K<sub>15</sub>(S<sub>10</sub>) at a concentration of 0.16 g/L.

**Keywords:** bog cranberry, *ex vitro*, of growing completion, grow lights, fertilizers

## Введение

В последние несколько десятилетий в мире, в том числе и России, возросло потребление дикорастущих ягод, обладающих полезными веществами, такими как флавоноиды, полифенольными соединения, витамины, нутриенты, за счёт увеличения их производственных насаждений. При этом, в следствии возросших антропогенных и техногенных факторов, происходит уменьшение природных запасов в их естественной среде произрастания [1,2,3].

Клюква болотная, она же европейская (*Vaccinium oxycoccos* L. sect. *Oxycoccus* W.D.), наряду с черникой миртолистной (*Vaccinium myrtillus* L.), голубикой топяной (*Vaccinium uliginosum* L.) и брусникой обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea* L.) – являются наиболее распространёнными дикорастущими лесными ягодными культурами из семейства Вересковых (*Ericaceae* Juss.) в России [4,5].

Промышленные насаждения клюквы находятся в основном в Северной Америке (США, Канада), Южной Америке (Чили), частично в странах восточной Европы (Польша, Латвия, Эстония, Финляндия), а также Беларуси, и представлены в основном крупноплодным видом культуры – клюквой крупноплодной (*Vaccinium macrocarpon* Ait.). В России также есть промышленные насаждения с клюквой крупноплодной, занимающие около 140 га [5,6,7,8,9,10,11].

Однако есть предпосылки к выращиванию клюквы европейского происхождения – клюквы болотной (*Vaccinium oxycoccos* L.). По исследованиям, клюква болотная и её сорта по содержанию полифенолов и антоцианов не уступают, а по некоторым показателям даже превышают, современные сорта американского происхождения – клюквы крупноплодной (*Vaccinium macrocarpon* Ait.) [12,13,14,15].

Кроме этого, требования к почвенно-климатическим условиям, которые имеются в России, являются затрудняющим фактором в распространении и создании промышленных плантаций клюквы крупноплодной (*Vaccinium macrocarpon* Ait.), в то время как большей адаптивностью к внешним условиям окружающей среды обладает именно клюква болотная (*Vaccinium oxycoccos* L.) [16,17].

В естественных условиях клюква произрастает в сырых хвойных лесах, на болотах и торфяниках. Она широко распространена в европейской и восточной частях России – в Карелии, Сибири, на Камчатке, Сахалине. Северная граница ареала проходит в районе Полярного круга (лесотундровые зоны), южная – совпадает с границами распространения торфяных болот [18]. Общая площадь естественных зарослей клюквы болотной составляет приблизительно 1,5 млн. га с биологическими ресурсами ягод клюквы, оцениваемые в 600 тыс. т [19,20].

Промышленные плантации клюквы болотной в настоящее время в России (в основном в Костромской, Архангельской областях) превышают более 400 га.

Увеличение объёмов выращивания клюквы болотной влечёт за собой рост спроса на высококачественный посадочный материал, который, как правило, получают классическими методами вегетативного размножения – зелёными и одревесневшими черенками [16,20,21,22]. Данные методы являются надёжными, но медленными и трудоемкими для получения большого количества растительного материала [20]. Семенное размножение не используют, так как в результате перекрестного опыления сеянцы не сохраняют биологических и хозяйственно-ценных свойств исходного растения, тем самым не сохраняют сортовую чистоту [23].

В настоящее время для получения требуемого количества качественного посадочного материала рода *Vaccinium* L. эффективно использовать технологию клонального микроразмножения – современный интенсивный способ массового размножения растений в культуре тканей и клеток, получивший свое широкое распространение во многих странах мира, в том числе и в России [24,25,26].

Однако, современные исследования, используемые в области клонального микроразмножения не описывают особенности развития растений после прохождения культуры *in vitro*. Мало сведений, как ведут себя *ex vitro* растения, в частности клюква болотная, на этапах адаптации и пост-адаптации (дорастивания), на которых часто отмечают гибель, замедленный рост и слабое развитие [27,28,29]. Причинами подобных явлений на этих этапах могут служить недостаток в минеральном питании, отсутствия в листьях ассимилятов – конечных продуктов процесса фотосинтеза, особенно это важно вечнозелёным растениям [30,31]. Подобные проблемы возникают, поскольку растения, находясь в условиях *in vitro*, в стерильных контролируемых условиях с высокой влажностью, стабильным минеральным питанием и регулируемой освещённостью [32].

Во время культивирования, при акклиматизации – для ускорения получения саженцев, высаживают растения-регенеранты вересковых культур без корней, поскольку они способны хорошо образовывать корни в условиях *ex vitro* [33,34,35]. Также в условиях *ex vitro* часто происходит нарушение работоспособности листьев или фотоингибирование, которое развилось в условиях *in vitro*, поскольку листовой аппарат растений испытывает стресс при резком изменении внешних условий [36,37]. *Ex vitro* растения клюквы при дорастивании характеризуются незначительной побегообразовательной способностью, что может быть вызвано недостатком питательных веществ и неправильно подобранной освещённостью [29].

Важным является использование определённого субстрата и тары для дальнейшего дорастивания *Ex vitro* растений. Верховой кислый торф – считается лучшим субстратом, за счёт того, что он обладает водно- и воздухоёмкостью – требуемые условия для корневой системы, а также необходимой кислотностью субстра-

та, обеспечивающей жизнедеятельность растений [35,38].

Контейнерное доращивание *Ex vitro* растений в условиях защищённого грунта, помимо контролируемого минерального питания, имеет ряд преимуществ. Во-первых, происходит лучшая приживаемость растений при пересадке в условия открытого грунта. Во-вторых, высадка на постоянное место посадочного материала с закрытой корневой системой осуществляется в течение всего вегетационного периода, значительно снижаются затраты труда при транспортировке и хранении. В-третьих, имеется возможность фитосанитарного контроля, благодаря которому сокращаются обработки по защите растений [39,40,41,42].

Кроме всего прочего, освещённость при доращивании играет немаловажную роль, помимо стимулирования процессов фотосинтеза, она может оказывать положительное влияние на морфометрические показатели развития растений и производство вторичных метаболитов [43]. Многочисленные исследования подтвердили, что спектральное сочетание красного и синего света в различных соотношениях достаточно эффективно для выращивания различных растений, в том числе и после *in vitro*, в тепличных условиях [44,45].

Поэтому перспективно подбирать оптимальный тип освещённости и режим минерального питания, которые помогут избежать подобных проблем и оптимизировать доращивание клюквы болотной в условиях *Ex vitro*.

Целью наших исследований было совершенствование способов доращивания *Ex vitro* растений клюквы болотной особой формы (*Vaccinium oxycoccos* L.) в условиях защищенного грунта (тепличных условиях) с использованием двух типов освещения (фитоосвещение с 16-часовым фотопериодом и естественным освещением – без добавления дополнительного освещения) и минеральных удобрений.

## 1. Материалы и методы

Опыты проводили в 2021-2022 годах в Российском государственном аграрном университете – МСХА имени К.А. Тимирязева, в отделах биотехнологии и ягодных культур учебно-научно-производственного центра Садоводства и овощеводства имени В.И. Эдельштейна.

Объектами исследований служили *Ex vitro* растения отборной формы клюквы болотной (*Vaccinium oxycoccos* L.), полученные при помощи технологии клонального микроразмножения (рисунок 1). На этапе мультипликации использовали питательную среду WPM, обогащенную следующими веществами (мг/л): тиамин гидрохлорид (B1), пиридоксин гидрохлорид (B6), никотинамид (PP) – 0,5; мезоинозитол – 100, сахароза – 30 000, с добавлением 2-иP (N6-(2-изопентил)аденин) в концентрации 0,5 г/л [46,47,48]. Кислотность среды pH 4,5, агар-агар 8 г/л. *In vitro* растения субкультивировали в световой комнате, где освещённость составляла 7,32 Вт/м<sup>2</sup> под смешанным освещением (фитолампы – PPFD 18,9 мкмоль/с/м<sup>2</sup> и флуоресцентные лампы – PPFD 43,0 мкмоль/с/м<sup>2</sup>) с 16-ч фотопериодом и температурой 20-22 °С. Длительность субкультивирования составила 60 дней [49].

Укоренение производили на стадии акклиматизации к нестерильным условиям, так как известно, что вересковые достаточно хорошо укореняются на этой стадии в течение 45 дней [34,50,51,52]. Микрорастения высаживали в кассеты с 144-ячейками в смесь верхового торфа и агроперлита (температура воздуха 24-30 °С, влажность 75%).

Высадку опытных адаптированных растений клюквы проводили в I декаде апреля в контейнеры объемом 0,5 л в торфяной субстрат 'Veltorf' с кислотностью не менее pH 3,5-4,0, в который по вариантам добавляли минеральные удобрения: АРАВИВА N<sub>15</sub>P<sub>15</sub>K<sub>15</sub>(S<sub>10</sub>) 0,08 и 0,16 г/л, Сульфоаммофос N<sub>16</sub>P<sub>20</sub>(S<sub>12</sub>) 0,072 и 0,144 г/л,



Микрорастения в условиях *in vitro*



Растения в процессе доращивания

**Рис. 1. Растения клюквы болотной особой формы (*Vaccinium oxycoccos* L.) на разных этапах клонального микроразмножения.**  
**Fig. 1. Plants of small cranberries (*Vaccinium oxycoccos* L.) on different stages of clonal micropropagation**

Таблица 1. Морфометрические показатели развития *Ex vitro* растений клюквы болотной (*Vaccinium oxycoccos* L.) на 14-й день доращивания  
Table 1. Morphometric indicators of *Ex vitro* development of bog cranberry (*Vaccinium oxycoccos* L.) plants on the 14th day of growing completion

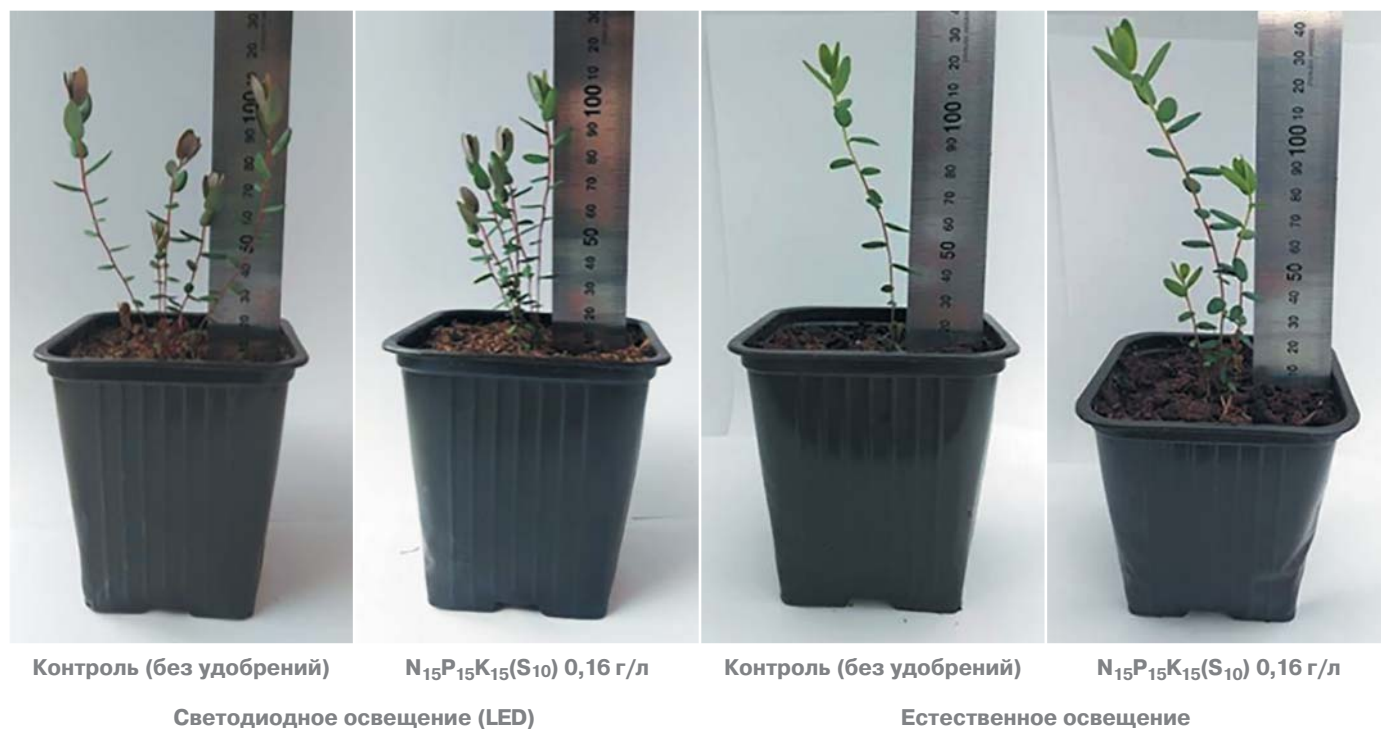
| Вид удобрения<br>(Фактор В)                                                         | Освещение (Фактор А)               |                                          | Среднее<br>по фактору В                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------|
|                                                                                     | Естественное<br>освещение $\pm$ SD | Светодиодное<br>освещение (LED) $\pm$ SD |                                                      |
| Среднее количество побегов 0-го порядка, шт.                                        |                                    |                                          | HCP <sub>05</sub> b = F <sub>e</sub> <F <sub>t</sub> |
| Контроль (б/у)                                                                      | 1,4 $\pm$ 0,89                     | 2,8 $\pm$ 1,10                           | 2,1                                                  |
| N <sub>15</sub> P <sub>15</sub> K <sub>15</sub> (S <sub>10</sub> ) 0,08 г/л         | 1,6 $\pm$ 0,55                     | 2,6 $\pm$ 0,89                           | 2,1                                                  |
| N <sub>15</sub> P <sub>15</sub> K <sub>15</sub> (S <sub>10</sub> ) 0,16 г/л         | 2,2 $\pm$ 0,45 <sup>a</sup>        | 4,0 $\pm$ 1,73 <sup>a</sup>              | 3,1                                                  |
| N <sub>16</sub> P <sub>20</sub> (S <sub>12</sub> ) 0,072 г/л                        | 2,0 $\pm$ 0,00 <sup>a</sup>        | 3,6 $\pm$ 1,82 <sup>a</sup>              | 2,8                                                  |
| N <sub>16</sub> P <sub>20</sub> (S <sub>12</sub> ) 0,144 г/л                        | 2,4 $\pm$ 0,55 <sup>a</sup>        | 3,4 $\pm$ 1,14 <sup>a</sup>              | 2,9                                                  |
| N <sub>12</sub> P <sub>52</sub> 0,1 г/л                                             | 2,8 $\pm$ 1,30 <sup>a</sup>        | 3,6 $\pm$ 1,14 <sup>a</sup>              | 3,2                                                  |
| N <sub>12</sub> P <sub>52</sub> 0,2 г/л                                             | 2,0 $\pm$ 0,71 <sup>a</sup>        | 3,8 $\pm$ 2,39 <sup>a</sup>              | 2,9                                                  |
| Среднее по фактору А<br>HCP <sub>05</sub> a = 0,59                                  | 2,1                                | 3,4                                      |                                                      |
| HCP <sub>05</sub> ab = F <sub>e</sub> <F <sub>t</sub> для сравнения частных случаев |                                    |                                          |                                                      |
| Среднее количество побегов 1-го порядка, шт.                                        |                                    |                                          | HCP <sub>05</sub> b = 1,44                           |
| Контроль (б/у)                                                                      | 0                                  | 0,4 $\pm$ 0,89                           | 0,2                                                  |
| N <sub>15</sub> P <sub>15</sub> K <sub>15</sub> (S <sub>10</sub> ) 0,08 г/л         | 0,2 $\pm$ 0,45                     | 2,4 $\pm$ 1,14 <sup>a,b</sup>            | 1,3                                                  |
| N <sub>15</sub> P <sub>15</sub> K <sub>15</sub> (S <sub>10</sub> ) 0,16 г/л         | 0                                  | 3,0 $\pm$ 2,12 <sup>a,b,ab</sup>         | 1,5                                                  |
| N <sub>16</sub> P <sub>20</sub> (S <sub>12</sub> ) 0,072 г/л                        | 0                                  | 3,2 $\pm$ 1,30 <sup>a,b,ab</sup>         | 1,6                                                  |
| N <sub>16</sub> P <sub>20</sub> (S <sub>12</sub> ) 0,144 г/л                        | 0                                  | 3,8 $\pm$ 2,17 <sup>a,b,ab</sup>         | 1,9                                                  |
| N <sub>12</sub> P <sub>52</sub> 0,1 г/л                                             | 0,2 $\pm$ 0,45                     | 3,8 $\pm$ 0,84 <sup>a,b,ab</sup>         | 2,0                                                  |
| N <sub>12</sub> P <sub>52</sub> 0,2 г/л                                             | 0                                  | 3,2 $\pm$ 1,30 <sup>a,b,ab</sup>         | 1,6                                                  |
| Среднее по фактору А<br>HCP <sub>05</sub> a = 0,52                                  | 0,1                                | 2,8                                      |                                                      |
| HCP <sub>05</sub> ab = 2,33 для сравнения частных случаев                           |                                    |                                          |                                                      |
| Суммарная длина побегов, см                                                         |                                    |                                          | HCP <sub>05</sub> b = 9,51                           |
| Контроль (б/у)                                                                      | 8,4 $\pm$ 2,76                     | 17,4 $\pm$ 5,38                          | 12,9                                                 |
| N <sub>15</sub> P <sub>15</sub> K <sub>15</sub> (S <sub>10</sub> ) 0,08 г/л         | 14,2 $\pm$ 5,16 <sup>a</sup>       | 22,3 $\pm$ 4,17 <sup>a</sup>             | 18,3                                                 |
| N <sub>15</sub> P <sub>15</sub> K <sub>15</sub> (S <sub>10</sub> ) 0,16 г/л         | 11,7 $\pm$ 3,35                    | 32,9 $\pm$ 6,43 <sup>a,b</sup>           | 22,3                                                 |
| N <sub>16</sub> P <sub>20</sub> (S <sub>12</sub> ) 0,072 г/л                        | 12,4 $\pm$ 1,07 <sup>a</sup>       | 30,1 $\pm$ 13,44 <sup>a,b</sup>          | 21,3                                                 |
| N <sub>16</sub> P <sub>20</sub> (S <sub>12</sub> ) 0,144 г/л                        | 15,1 $\pm$ 5,37 <sup>a</sup>       | 29,6 $\pm$ 10,28 <sup>a,b</sup>          | 22,4                                                 |
| N <sub>12</sub> P <sub>52</sub> 0,1 г/л                                             | 18,6 $\pm$ 6,39 <sup>a,b</sup>     | 32,2 $\pm$ 7,24 <sup>a,b</sup>           | 25,4                                                 |
| N <sub>12</sub> P <sub>52</sub> 0,2 г/л                                             | 11,1 $\pm$ 5,17                    | 29,1 $\pm$ 10,73 <sup>a,b</sup>          | 20,1                                                 |
| Среднее по фактору А<br>HCP <sub>05</sub> a = 3,43                                  | 13,1                               | 27,7                                     |                                                      |
| HCP <sub>05</sub> ab = F <sub>e</sub> <F <sub>t</sub> для сравнения частных случаев |                                    |                                          |                                                      |
| Площадь листовой поверхности, см <sup>2</sup>                                       |                                    |                                          | HCP <sub>05</sub> b = 3,12                           |
| Контроль (б/у)                                                                      | 2,9 $\pm$ 0,96                     | 5,8 $\pm$ 1,73                           | 4,4                                                  |
| N <sub>15</sub> P <sub>15</sub> K <sub>15</sub> (S <sub>10</sub> ) 0,08 г/л         | 5,1 $\pm$ 1,34 <sup>a</sup>        | 10,6 $\pm$ 2,54 <sup>a,b</sup>           | 7,9                                                  |
| N <sub>15</sub> P <sub>15</sub> K <sub>15</sub> (S <sub>10</sub> ) 0,16 г/л         | 5,2 $\pm$ 1,98 <sup>a</sup>        | 11,7 $\pm$ 2,80 <sup>a,b</sup>           | 8,5                                                  |
| N <sub>16</sub> P <sub>20</sub> (S <sub>12</sub> ) 0,072 г/л                        | 4,5 $\pm$ 0,93 <sup>a</sup>        | 8,6 $\pm$ 3,82 <sup>a</sup>              | 6,6                                                  |
| N <sub>16</sub> P <sub>20</sub> (S <sub>12</sub> ) 0,144 г/л                        | 5,7 $\pm$ 1,96 <sup>a</sup>        | 9,2 $\pm$ 2,06 <sup>a,b</sup>            | 7,5                                                  |
| N <sub>12</sub> P <sub>52</sub> 0,1 г/л                                             | 7,2 $\pm$ 3,02 <sup>a,b</sup>      | 11,5 $\pm$ 1,95 <sup>a,b</sup>           | 9,4                                                  |
| N <sub>12</sub> P <sub>52</sub> 0,2 г/л                                             | 3,5 $\pm$ 1,56                     | 10,0 $\pm$ 3,32 <sup>a,b</sup>           | 6,8                                                  |
| Среднее по фактору А<br>HCP <sub>05</sub> a = 1,13                                  | 4,9                                | 9,6                                      |                                                      |

HCP<sub>05</sub> ab = F<sub>e</sub><F<sub>t</sub> для сравнения частных случаев

HCP<sub>05</sub> рассчитана при помощи двухфакторного дисперсионного анализа:

\* результаты выражены как среднее значение  $\pm$  стандартное отклонение;

\*\* «a,b,ab» - разница между средними с контролем достоверна на основе сравнения разниц между средними с НСР на 5% уровне значимости: «a» - по фактору а (тип освещённости), «b» - по фактору b (вид удобрения), «ab» - при взаимодействии факторов.



**Рис. 2. Внешний вид ex vitro растений клюквы болотной (*Vaccinium oxycoccos* L.) на 14-й день доращивания**  
**Fig. 2. External appearance of ex vitro bog cranberry (*Vaccinium oxycoccos* L.) plants on the 14<sup>th</sup> day of growing completion**

$N_{12}P_{52}$  0,1 и 0,2 г/л, контроль без удобрений. Удобрения представлены фирмой ФосАгро.

Растения размещали в условиях с различным видом освещённости: под светодиодными фитолампами (UnionPowerStar – 40W-T, мощность 40 Вт, страна-производитель: Германия) с фотопериодом 16 часов и при естественном освещении (без использования дополнительного освещения) в тепличных условиях.

Учёт морфометрических показателей развития *Ex vitro* растений проводили 3 раза, каждые две недели на 14, 28 и 42 дни. При этом учитывали: количество побегов (0-го, 1-го порядков ветвления), суммарную длину побегов, площадь листовой поверхности. Повторность опытов трёхкратная, по 35 растений в одной повторности.

Статистическую обработку данных по двухфакторному дисперсионному анализу проводили с помощью компьютерных программ Microsoft Office Excel 2016, STATISTICA\_10.0.1011 и по методике Исачкина А.В. [53], что подтвердило подлинность полученных результатов исследований. Статистически значимые различия средних значений проверялись с помощью *t*-критерия ( $P < 0,05$ ). Данные представлены в виде средних значений и стандартных отклонений ( $M \pm SD$ ).

## 2. Результаты исследований

В результате наблюдений за экспериментом установили, что освещённость (фактор а) и удобрения (фактор b) достоверно влияют на рост и развитие *ex vitro* растений клюквы болотной отборной формы, как отдельно, так и при взаимодействии (ab) между собой.

На 14 день доращивания саженцев клюквы болотной в контейнерах, достоверные различия с контро-

лем получены в условиях фитоосвещения (UnionPowerStar – 40W-T) в вариантах с применением минеральных удобрений  $N_{15}P_{15}K_{15}(S_{10})$  в концентрации 0,16 г/л,  $N_{16}P_{20}(S_{12})$  в концентрациях 0,072 и 0,144 г/л,  $N_{12}P_{52}$  в концентрациях 0,1 и 0,2 г/л. Так как на 14 день доращивания в данных вариантах количество побегов 0-го порядка составило  $3,4 \pm 1,14$  –  $4,0 \pm 1,73$  шт. против 2,8 шт., в контроле без удобрений, помимо этого количество побегов 1-го порядка –  $3,0 \pm 2,12$  –  $3,8 \pm 2,17$  шт. против 0,4 шт. в контроле, суммарная длина побегов –  $29,1 \pm 10,73$  –  $32,9 \pm 6,43$  см против  $17,4 \pm 5,38$  см в контроле, а площадь листовой поверхности –  $9,2 \pm 2,06$  –  $11,7 \pm 2,80$  см<sup>2</sup> против  $5,8 \pm 1,73$  см<sup>2</sup> в контроле.

В условиях естественной освещённости в тепличных условиях достоверное различие с контролем по количеству побегов 0-го порядка ветвления выявлено в тех же вариантах, что и при фитоосвещении и составило  $2,0 \pm 0,00$  –  $2,8 \pm 1,30$  шт. против  $1,4 \pm 0,89$  шт. в контроле. Кроме того, суммарная длина побегов составила  $12,4 \pm 1,07$  –  $18,6 \pm 6,39$  см против  $8,4 \pm 2,76$  см в контроле, а в площадь листовой поверхности –  $4,5 \pm 0,93$  –  $7,2 \pm 3,02$  см<sup>2</sup> против  $2,9 \pm 0,96$  см<sup>2</sup> в контроле (табл. 1, рис. 2).

При втором учёте на 28-й день наблюдений, наблюдается преимущество ранее выделенных вариантов в условиях светодиодного фитоосвещения (UnionPowerStar – 40W-T) –  $N_{15}P_{15}K_{15}(S_{10})$  в концентрации 0,16 г/л,  $N_{16}P_{20}(S_{10})$  в концентрациях 0,072 и 0,144 г/л и  $N_{12}P_{52}$  в концентрации 0,1 г/л. Фитоосвещение с минеральными удобрениями положительно повлияло на количество побегов 1-го порядка ( $5,4 \pm 1,82$  –  $6,2 \pm 1,64$  шт. против  $3,4 \pm 2,19$  шт. в контроле), суммарную длину побегов, где лучшими оказались варианты

Таблица 2. Морфометрические показатели развития *ex vitro* растений клюквы болотной особой формы на 28-й день доращивания  
 Table 2. Morphometric indicators of *ex vitro* development of bog cranberry (*Vaccinium oxycoccos* L.) plants on the 28<sup>th</sup> day of growing completion

| Вид удобрения<br>(Фактор В)                                                         | Освещение (Фактор А)               |                                          | Среднее<br>по фактору В                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------|
|                                                                                     | Естественное<br>освещение $\pm$ SD | Светодиодное<br>освещение (LED) $\pm$ SD |                                                      |
| Среднее количество побегов 0-го порядка, шт.                                        |                                    |                                          | HCP <sub>05</sub> b = F <sub>e</sub> <F <sub>t</sub> |
| Контроль (б/у)                                                                      | 1,6 $\pm$ 1,34                     | 3,2 $\pm$ 1,30                           | 2,4                                                  |
| N <sub>15</sub> P <sub>15</sub> K <sub>15</sub> (S <sub>10</sub> ) 0,08 г/л         | 1,6 $\pm$ 0,55                     | 2,6 $\pm$ 0,89                           | 2,1                                                  |
| N <sub>15</sub> P <sub>15</sub> K <sub>15</sub> (S <sub>10</sub> ) 0,16 г/л         | 2,2 $\pm$ 0,45 <sup>a</sup>        | 4,0 $\pm$ 1,73 <sup>a</sup>              | 3,1                                                  |
| N <sub>16</sub> P <sub>20</sub> (S <sub>12</sub> ) 0,072 г/л                        | 2,0 $\pm$ 0,00                     | 3,6 $\pm$ 1,82                           | 2,8                                                  |
| N <sub>16</sub> P <sub>20</sub> (S <sub>12</sub> ) 0,144 г/л                        | 2,4 $\pm$ 0,55 <sup>a</sup>        | 3,4 $\pm$ 1,14                           | 2,9                                                  |
| N <sub>12</sub> P <sub>52</sub> 0,1 г/л                                             | 2,8 $\pm$ 1,30 <sup>a</sup>        | 3,6 $\pm$ 1,14                           | 3,2                                                  |
| N <sub>12</sub> P <sub>52</sub> 0,2 г/л                                             | 2,2 $\pm$ 0,45 <sup>a</sup>        | 4,0 $\pm$ 2,12 <sup>a</sup>              | 3,1                                                  |
| Среднее по фактору А<br>HCP <sub>05</sub> a = 0,59                                  | 2,1                                | 3,5                                      |                                                      |
| HCP <sub>05</sub> ab = F <sub>e</sub> <F <sub>t</sub> для сравнения частных случаев |                                    |                                          |                                                      |
| Среднее количество побегов 1-го порядка, шт.                                        |                                    |                                          | HCP <sub>05</sub> b = 2,06                           |
| Контроль (б/у)                                                                      | 0                                  | 3,4 $\pm$ 2,19                           | 1,7                                                  |
| N <sub>15</sub> P <sub>15</sub> K <sub>15</sub> (S <sub>10</sub> ) 0,08 г/л         | 1,0 $\pm$ 1,00 <sup>a</sup>        | 5,2 $\pm$ 1,30 <sup>a</sup>              | 3,1                                                  |
| N <sub>15</sub> P <sub>15</sub> K <sub>15</sub> (S <sub>10</sub> ) 0,16 г/л         | 1,6 $\pm$ 1,82 <sup>a</sup>        | 6,2 $\pm$ 1,30 <sup>a,b</sup>            | 3,9                                                  |
| N <sub>16</sub> P <sub>20</sub> (S <sub>12</sub> ) 0,072 г/л                        | 0,7 $\pm$ 0,58 <sup>a</sup>        | 5,4 $\pm$ 1,82 <sup>a</sup>              | 3,1                                                  |
| N <sub>16</sub> P <sub>20</sub> (S <sub>12</sub> ) 0,144 г/л                        | 0,6 $\pm$ 0,89                     | 5,8 $\pm$ 2,39 <sup>a,b</sup>            | 3,2                                                  |
| N <sub>12</sub> P <sub>52</sub> 0,1 г/л                                             | 1,6 $\pm$ 1,52 <sup>a</sup>        | 6,2 $\pm$ 1,64 <sup>a,b</sup>            | 3,9                                                  |
| N <sub>12</sub> P <sub>52</sub> 0,2 г/л                                             | 0,4 $\pm$ 0,55                     | 5,4 $\pm$ 1,52 <sup>a</sup>              | 2,9                                                  |
| Среднее по фактору А<br>HCP <sub>05</sub> a = 0,74                                  | 0,8                                | 5,4                                      |                                                      |
| HCP <sub>05</sub> ab = 2,3 для сравнения частных случаев                            |                                    |                                          |                                                      |
| Суммарная длина побегов, см                                                         | HCP <sub>05</sub> b = 13,99        |                                          |                                                      |
| Контроль (б/у)                                                                      | 11,2 $\pm$ 4,61                    | 27,8 $\pm$ 11,12                         | 19,5                                                 |
| N <sub>15</sub> P <sub>15</sub> K <sub>15</sub> (S <sub>10</sub> ) 0,08 г/л         | 21,4 $\pm$ 4,17 <sup>a</sup>       | 44,6 $\pm$ 10,44 <sup>a,b</sup>          | 33,0                                                 |
| N <sub>15</sub> P <sub>15</sub> K <sub>15</sub> (S <sub>10</sub> ) 0,16 г/л         | 25,2 $\pm$ 9,93 <sup>a,b</sup>     | 59,5 $\pm$ 9,93 <sup>a,b</sup>           | 42,4                                                 |
| N <sub>16</sub> P <sub>20</sub> (S <sub>12</sub> ) 0,072 г/л                        | 20,7 $\pm$ 2,46 <sup>a</sup>       | 54,1 $\pm$ 16,86 <sup>a,b</sup>          | 37,4                                                 |
| N <sub>16</sub> P <sub>20</sub> (S <sub>12</sub> ) 0,144 г/л                        | 25,6 $\pm$ 8,98 <sup>a,b</sup>     | 52,7 $\pm$ 16,06 <sup>a,b</sup>          | 39,2                                                 |
| N <sub>12</sub> P <sub>52</sub> 0,1 г/л                                             | 32,3 $\pm$ 9,77 <sup>a,b</sup>     | 57,6 $\pm$ 9,86 <sup>a,b</sup>           | 45,0                                                 |
| N <sub>12</sub> P <sub>52</sub> 0,2 г/л                                             | 19,7 $\pm$ 6,96 <sup>a</sup>       | 52,2 $\pm$ 11,99 <sup>a,b</sup>          | 36,0                                                 |
| Среднее по фактору А<br>HCP <sub>05</sub> a = 5,04                                  | 22,3                               | 49,8                                     |                                                      |
| HCP <sub>05</sub> ab = F <sub>e</sub> <F <sub>t</sub> для сравнения частных случаев |                                    |                                          |                                                      |
| Площадь листовой поверхности, см <sup>2</sup>                                       |                                    |                                          | HCP <sub>05</sub> b = 5,89                           |
| Контроль (б/у)                                                                      | 3,4 $\pm$ 0,84                     | 11,5 $\pm$ 4,43                          | 7,5                                                  |
| N <sub>15</sub> P <sub>15</sub> K <sub>15</sub> (S <sub>10</sub> ) 0,08 г/л         | 9,2 $\pm$ 3,17 <sup>a</sup>        | 20,1 $\pm$ 6,40 <sup>a,b</sup>           | 14,7                                                 |
| N <sub>15</sub> P <sub>15</sub> K <sub>15</sub> (S <sub>10</sub> ) 0,16 г/л         | 9,9 $\pm$ 4,36 <sup>a,b</sup>      | 27,7 $\pm$ 2,19 <sup>a,b</sup>           | 18,8                                                 |
| N <sub>16</sub> P <sub>20</sub> (S <sub>12</sub> ) 0,072 г/л                        | 8,2 $\pm$ 1,46 <sup>a</sup>        | 23,4 $\pm$ 5,24 <sup>a,b</sup>           | 15,8                                                 |
| N <sub>16</sub> P <sub>20</sub> (S <sub>12</sub> ) 0,144 г/л                        | 8,5 $\pm$ 3,79 <sup>a</sup>        | 23,1 $\pm$ 6,65 <sup>a,b</sup>           | 15,8                                                 |
| N <sub>12</sub> P <sub>52</sub> 0,1 г/л                                             | 11,9 $\pm$ 7,08 <sup>a,b</sup>     | 23,8 $\pm$ 3,48 <sup>a,b</sup>           | 17,9                                                 |
| N <sub>12</sub> P <sub>52</sub> 0,2 г/л                                             | 6,9 $\pm$ 3,08 <sup>a</sup>        | 22,6 $\pm$ 2,85 <sup>a,b</sup>           | 14,8                                                 |
| Среднее по фактору А<br>HCP <sub>05</sub> a = 2,12                                  | 8,3                                | 20,1                                     |                                                      |

HCP<sub>05</sub> ab = F<sub>e</sub><F<sub>t</sub> для сравнения частных случаев

HCP<sub>05</sub> рассчитана при помощи двухфакторного дисперсионного анализа:

\* результаты выражены как среднее значение  $\pm$  стандартное отклонение;

\*\* «a,b,ab» - разница между средними с контролем достоверна на основе сравнения разниц между средними с HCP на 5% уровне значимости: «a» - по фактору а (тип освещённости), «b» - по фактору b (вид удобрения), «ab» - при взаимодействии факторов.

Таблица 3. Морфометрические показатели развития *ex vitro* растений клюквы болотной особой формы на 42-й день доращивания  
 Table 3. Morphometric indicators of *ex vitro* development of bog cranberry (*Vaccinium oxycoccos* L.) plants on the 42th day of growing completion

| Вид удобрения<br>(Фактор В)                                                 | Освещение (Фактор А)               |                                          | Среднее<br>по фактору В     |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------|
|                                                                             | Естественное<br>освещение $\pm$ SD | Светодиодное освещение<br>(LED) $\pm$ SD |                             |
| Среднее количество побегов 0-го порядка, шт.                                |                                    |                                          | HCP <sub>05</sub> b = Fe<Ft |
| Контроль (б/у)                                                              | 1,6 $\pm$ 1,34                     | 3,2 $\pm$ 1,30                           | 2,4                         |
| N <sub>15</sub> P <sub>15</sub> K <sub>15</sub> (S <sub>10</sub> ) 0,08 г/л | 1,6 $\pm$ 0,55                     | 2,6 $\pm$ 0,89                           | 2,1                         |
| N <sub>15</sub> P <sub>15</sub> K <sub>15</sub> (S <sub>10</sub> ) 0,16 г/л | 2,2 $\pm$ 0,45 <sup>a</sup>        | 4,0 $\pm$ 1,73 <sup>a</sup>              | 3,1                         |
| N <sub>16</sub> P <sub>20</sub> (S <sub>12</sub> ) 0,072 г/л                | 2,0 $\pm$ 0,00                     | 3,6 $\pm$ 1,82                           | 2,8                         |
| N <sub>16</sub> P <sub>20</sub> (S <sub>12</sub> ) 0,144 г/л                | 2,4 $\pm$ 0,55 <sup>a</sup>        | 3,4 $\pm$ 1,14                           | 2,9                         |
| N <sub>12</sub> P <sub>52</sub> 0,1 г/л                                     | 2,8 $\pm$ 1,30 <sup>a</sup>        | 3,6 $\pm$ 1,14                           | 3,2                         |
| N <sub>12</sub> P <sub>52</sub> 0,2 г/л                                     | 2,2 $\pm$ 0,45 <sup>a</sup>        | 4,4 $\pm$ 1,82 <sup>a</sup>              | 3,3                         |
| Среднее по фактору А<br>HCP <sub>05</sub> a = 0,54                          | 2,1                                | 3,5                                      |                             |
| HCP <sub>05</sub> ab = Fe<Ft для сравнения частных случаев                  |                                    |                                          |                             |
| Среднее количество побегов 1-го порядка, шт.                                |                                    |                                          | HCP <sub>05</sub> b = 2,18  |
| Контроль (б/у)                                                              | 0,6 $\pm$ 0,55                     | 4,8 $\pm$ 2,17                           | 2,7                         |
| N <sub>15</sub> P <sub>15</sub> K <sub>15</sub> (S <sub>10</sub> ) 0,08 г/л | 3,8 $\pm$ 0,84 <sup>a,b</sup>      | 6,6 $\pm$ 0,89 <sup>a</sup>              | 5,2                         |
| N <sub>15</sub> P <sub>15</sub> K <sub>15</sub> (S <sub>10</sub> ) 0,16 г/л | 3,2 $\pm$ 1,30 <sup>a,b</sup>      | 9,0 $\pm$ 1,87 <sup>a,b</sup>            | 6,1                         |
| N <sub>16</sub> P <sub>20</sub> (S <sub>12</sub> ) 0,072 г/л                | 2,8 $\pm$ 0,84 <sup>a,b</sup>      | 5,6 $\pm$ 1,95 <sup>a</sup>              | 4,2                         |
| N <sub>16</sub> P <sub>20</sub> (S <sub>12</sub> ) 0,144 г/л                | 4,2 $\pm$ 1,30 <sup>a,b</sup>      | 7,6 $\pm$ 2,19 <sup>a,b</sup>            | 5,9                         |
| N <sub>12</sub> P <sub>52</sub> 0,1 г/л                                     | 3,6 $\pm$ 1,95 <sup>a,b</sup>      | 7,2 $\pm$ 2,39 <sup>a,b</sup>            | 5,4                         |
| N <sub>12</sub> P <sub>52</sub> 0,2 г/л                                     | 3,0 $\pm$ 0,71 <sup>a,b</sup>      | 6,8 $\pm$ 1,79 <sup>a</sup>              | 4,9                         |
| Среднее по фактору А<br>HCP <sub>05</sub> a = 0,78                          | 3,0                                | 6,8                                      |                             |
| HCP <sub>05</sub> ab = Fe<Ft для сравнения частных случаев                  |                                    |                                          |                             |
| Суммарная длина побегов, см                                                 |                                    |                                          | HCP <sub>05</sub> b = 23,83 |
| Контроль (б/у)                                                              | 17,0 $\pm$ 4,38                    | 58,6 $\pm$ 20,92                         | 37,8                        |
| N <sub>15</sub> P <sub>15</sub> K <sub>15</sub> (S <sub>10</sub> ) 0,08 г/л | 55,9 $\pm$ 7,72 <sup>a,b</sup>     | 82,9 $\pm$ 13,74 <sup>a,b</sup>          | 69,4                        |
| N <sub>15</sub> P <sub>15</sub> K <sub>15</sub> (S <sub>10</sub> ) 0,16 г/л | 55,9 $\pm$ 17,69 <sup>a,b</sup>    | 102,7 $\pm$ 10,45 <sup>a,b</sup>         | 79,3                        |
| N <sub>16</sub> P <sub>20</sub> (S <sub>12</sub> ) 0,072 г/л                | 48,0 $\pm$ 6,59 <sup>a,b</sup>     | 107,4 $\pm$ 35,95 <sup>a,b</sup>         | 77,7                        |
| N <sub>16</sub> P <sub>20</sub> (S <sub>12</sub> ) 0,144 г/л                | 56,7 $\pm$ 19,87 <sup>a,b</sup>    | 99,7 $\pm$ 18,78 <sup>a,b</sup>          | 78,2                        |
| N <sub>12</sub> P <sub>52</sub> 0,1 г/л                                     | 69,0 $\pm$ 20,01 <sup>a,b</sup>    | 105,8 $\pm$ 19,16 <sup>a,b</sup>         | 87,4                        |
| N <sub>12</sub> P <sub>52</sub> 0,2 г/л                                     | 43,4 $\pm$ 10,05 <sup>a,b</sup>    | 96,3 $\pm$ 14,82 <sup>a,b</sup>          | 69,9                        |
| Среднее по фактору А<br>HCP <sub>05</sub> a = 8,59                          | 49,4                               | 93,3                                     |                             |
| HCP <sub>05</sub> ab = Fe<Ft для сравнения частных случаев                  |                                    |                                          |                             |
| Площадь листовой поверхности, см <sup>2</sup>                               |                                    |                                          | HCP <sub>05</sub> b = 9,61  |
| Контроль (б/у)                                                              | 5,4 $\pm$ 1,70                     | 22,9 $\pm$ 9,63                          | 14,2                        |
| N <sub>15</sub> P <sub>15</sub> K <sub>15</sub> (S <sub>10</sub> ) 0,08 г/л | 24,0 $\pm$ 6,47 <sup>a,b</sup>     | 45,2 $\pm$ 9,49 <sup>a,b</sup>           | 34,6                        |
| N <sub>15</sub> P <sub>15</sub> K <sub>15</sub> (S <sub>10</sub> ) 0,16 г/л | 22,2 $\pm$ 8,25 <sup>a,b</sup>     | 54,1 $\pm$ 4,67 <sup>a,b</sup>           | 38,2                        |
| N <sub>16</sub> P <sub>20</sub> (S <sub>12</sub> ) 0,072 г/л                | 21,4 $\pm$ 3,23 <sup>a,b</sup>     | 44,8 $\pm$ 6,63 <sup>a,b</sup>           | 33,1                        |
| N <sub>16</sub> P <sub>20</sub> (S <sub>12</sub> ) 0,144 г/л                | 23,6 $\pm$ 8,28 <sup>a,b</sup>     | 41,1 $\pm$ 6,46 <sup>a,b</sup>           | 32,4                        |
| N <sub>12</sub> P <sub>52</sub> 0,1 г/л                                     | 29,7 $\pm$ 13,04 <sup>a,b</sup>    | 42,1 $\pm$ 3,29 <sup>a,b</sup>           | 35,9                        |
| N <sub>12</sub> P <sub>52</sub> 0,2 г/л                                     | 16,2 $\pm$ 4,72 <sup>a,b</sup>     | 36,6 $\pm$ 3,83 <sup>a,b</sup>           | 26,4                        |
| Среднее по фактору А<br>HCP <sub>05</sub> a = 3,47                          | 20,4                               | 41,0                                     |                             |
| HCP <sub>05</sub> ab = Fe<Ft для сравнения частных случаев                  |                                    |                                          |                             |

HCP<sub>05</sub> рассчитана при помощи двухфакторного дисперсионного анализа:

\* результаты выражены как среднее значение стандартное отклонение;

\*\* «a,b,ab» - разница между средними с контролем достоверна на основе сравнения разниц между средними с HCP на 5% уровне значимости: «a» - по фактору а (тип освещённости), «b» - по фактору b (вид удобрения), «ab» - при взаимодействии факторов.



Светодиодное освещение (LED)

Естественное освещение

Рис. 3. Внешний вид ex vitro растений клюквы болотной (*Vaccinium oxycoccos* L.) на 42-й день доращивания  
 Fig. 3. External appearance of ex vitro bog cranberry (*Vaccinium oxycoccos* L.) plants on the 42th day of growing completion

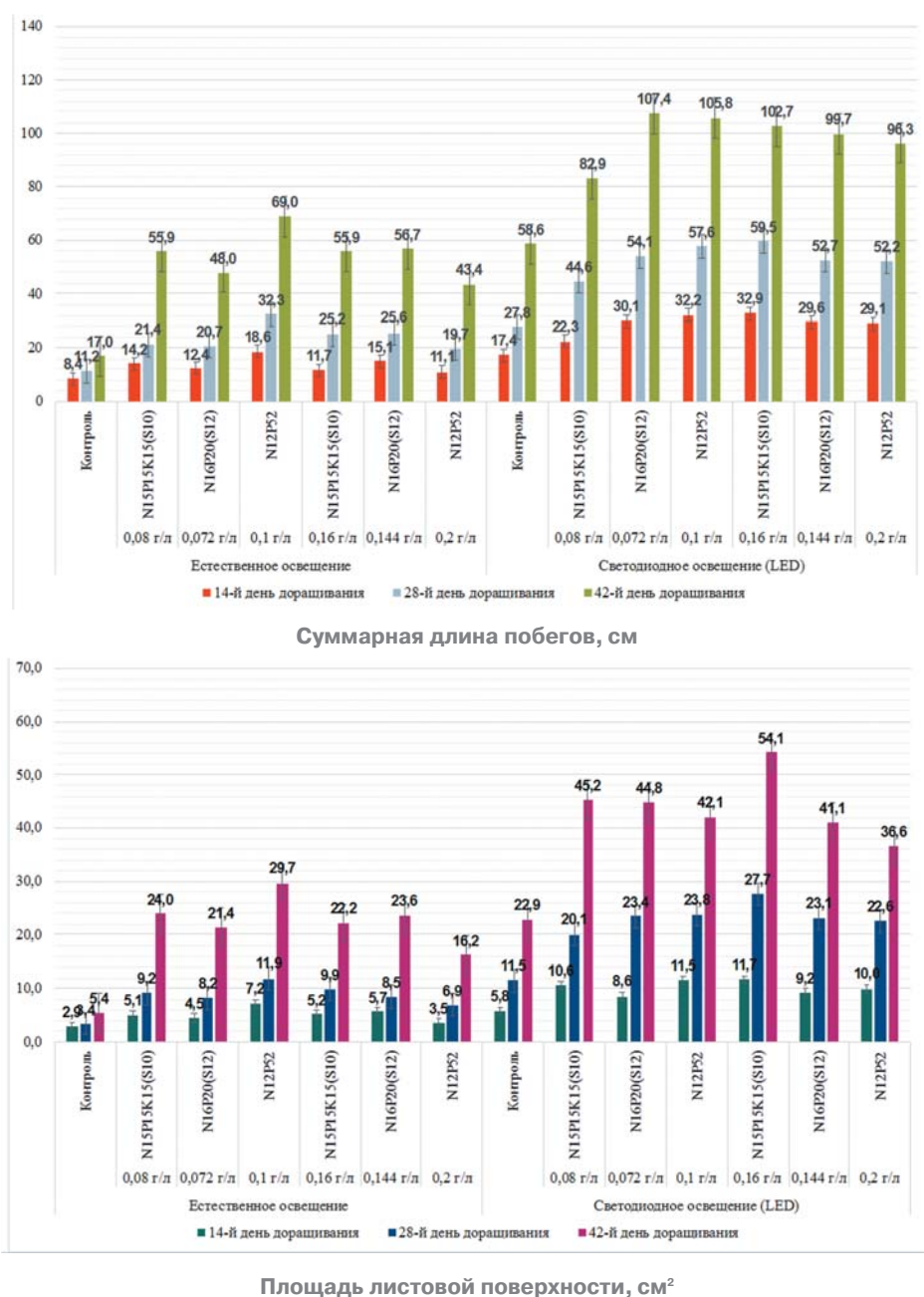


Рис. 4. Показатели развития ex vitro растений клюквы болотной особой формы (*Vaccinium oxycoccos* L.) во время доращивания

Fig. 4. Ex vitro development indexes of bog cranberry (*Vaccinium oxycoccos* L.) plants during of growing completion

Таблица 4. Индексы относительного содержания хлорофилла в листьях клюквы болотной (*Vaccinium oxycoccos* L.) на 42-й день доращивания  
Table 4. Indices of chlorophyll content in the leaves of bog cranberries (*Vaccinium oxycoccos* L.) on the 42<sup>nd</sup> day of growing completion

| Вид удобрения<br>(Фактор В)                                                 | Освещение (Фактор А)               |                                          | Среднее по фактору В<br>$HCP_{05} b = F_e < F_t$ |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------|
|                                                                             | Естественное<br>освещение $\pm SD$ | Светодиодное<br>освещение (LED) $\pm SD$ |                                                  |
| Контроль (б/у)                                                              | 380,0 $\pm$ 68,44                  | 305,7 $\pm$ 53,11                        | 342,9                                            |
| N <sub>15</sub> P <sub>15</sub> K <sub>15</sub> (S <sub>10</sub> ) 0,08 г/л | 501,0 $\pm$ 55,87                  | 349,3 $\pm$ 16,20                        | 425,2                                            |
| N <sub>15</sub> P <sub>15</sub> K <sub>15</sub> (S <sub>10</sub> ) 0,16 г/л | 548,3 $\pm$ 8,33                   | 341,7 $\pm$ 142,31                       | 445,0                                            |
| N <sub>16</sub> P <sub>20</sub> (S <sub>12</sub> ) 0,072 г/л                | 489,0 $\pm$ 106,08                 | 393,0 $\pm$ 82,66                        | 441,0                                            |
| N <sub>16</sub> P <sub>20</sub> (S <sub>12</sub> ) 0,144 г/л                | 596,7 $\pm$ 67,42                  | 454,3 $\pm$ 116,14                       | 525,5                                            |
| N <sub>12</sub> P <sub>52</sub> 0,1 г/л                                     | 368,3 $\pm$ 229,07                 | 604,7 $\pm$ 140,56                       | 486,5                                            |
| N <sub>12</sub> P <sub>52</sub> 0,2 г/л                                     | 556,0 $\pm$ 136,18                 | 555,7 $\pm$ 188,82                       | 555,9                                            |
| Среднее по фактору А<br>$HCP_{05} a = F_e < F_t$                            | 491,3                              | 429,2                                    |                                                  |
| $HCP_{05} ab = F_e < F_t$ для сравнения частных случаев                     |                                    |                                          |                                                  |

$HCP_{05}$  рассчитана при помощи двухфакторного дисперсионного анализа:

\* результаты выражены как среднее значение  $\pm$  стандартное отклонение;

\*\* «a,b,ab» - разница между средними с контролем достоверна на основе сравнения разниц между средними с  $HCP$  на 5% уровне значимости: «a» - по фактору а (тип освещённости), «b» - по фактору b (вид удобрения), «ab» - при взаимодействии факторов.

с добавлением N<sub>15</sub>P<sub>15</sub>K<sub>15</sub>(S<sub>10</sub>) в концентрации 0,16 г/л и N<sub>12</sub>P<sub>52</sub> в концентрации 0,1 (57,6 $\pm$ 9,86 – 59,5 $\pm$ 9,93 см против 27,8 $\pm$ 11,12 см в контроле), все опытные варианты оказали влияние на площадь листовой поверхности, при этом N<sub>15</sub>P<sub>15</sub>K<sub>15</sub>(S<sub>10</sub>) в концентрации 0,16 г/л – дал лучший результат (20,1 $\pm$ 6,40 – 27,7 $\pm$ 2,19 см<sup>2</sup> против 11,5 $\pm$ 4,43 см<sup>2</sup> в контроле).

Помимо этого, в условиях естественного освещения (фактор а) достоверно повлияли на количество побегов 1-го порядка, где лучшими были варианты с добавлением N<sub>15</sub>P<sub>15</sub>K<sub>15</sub>(S<sub>10</sub>) в концентрации 0,16 г/л и N<sub>12</sub>P<sub>52</sub> в концентрации 0,1 г/л (0,7 0,58 – 1,6 1,82 шт. против 0 шт. в контроле). Также выявлено достоверное оба факторов: освещённости (фактор а) и вида удобрений (фактор b) на суммарную длину побегов (25,2 9,93 – 32,3 $\pm$ 9,77 см против 11,2 $\pm$ 4,61 см в контроле) и площадь листовой поверхности (9,9 $\pm$ 4,36 – 11,9 $\pm$ 7,08 см<sup>2</sup> против 3,4 $\pm$ 0,84 см<sup>2</sup> в контроле) (табл. 2).

На 42 день доращивания *ex vitro* растений клюквы болотной в контейнерах в условиях фитоосвещения (UnionPowerStar – 40W-T) выявлено значительное преимущество всех опытных вариантов, так как в целом можно сказать, что все учитываемые морфометрические показатели развития растений почти в 2 раза превосходили показатели развития растений, доращиваемых в теплицах.

Сохранилось преимущество ранее выделенных вариантов, которые достоверно повлияли на количество побегов 1-го порядка ветвления – 5,6 $\pm$ 1,95 – 9,0 $\pm$ 1,87 шт. против 4,8 $\pm$ 2,17 шт. Вид минеральных удобрений (фактор b) и уровень освещённости (фактор а) достоверно повлияли на суммарную длину побегов (82,9 $\pm$ 13,74 – 107,4 $\pm$ 35,95 см против 58,6 $\pm$ 20,92 см в контроле) и площадь листовой поверхности (41,1 $\pm$ 6,46 – 54,1 $\pm$ 4,67 см<sup>2</sup> против 22,9 $\pm$ 9,63 см<sup>2</sup> в контроле).

При доращивании в тепличном комплексе уровень освещённости (фактор а) достоверно повлиял только на количество побегов 0-го порядка ветвления (2,2 $\pm$ 0,45 – 2,8 $\pm$ 1,30 шт. против 1,6 1,34 шт. в контроле). Вид удобрений (фактор b) и уровень освещённости (фактор а) достоверно повлияли на количество побегов 1-го порядка (3,0 $\pm$ 0,71 – 4,2 $\pm$ 1,30 шт. против 0,6 $\pm$ 0,55 шт. в контроле), а также на суммарную длину побегов (43,4 $\pm$ 10,05 – 69,0 $\pm$ 20,01 см против 17,0 $\pm$ 4,38 см в контроле) и площадь листовой поверхности (16,2 $\pm$ 4,72 – 29,7 $\pm$ 13,04 см<sup>2</sup> против 5,4 $\pm$ 1,70 см<sup>2</sup> в контроле) (табл. 3, рис. 3).

На 42-й день доращивания при помощи прибора N-tester SPAD 502 Plus Chlorophyll Meter мы определяли индексы относительного уровня азотного питания

растений по содержанию хлорофилла в опытных растениях клюквы болотной. Уровень содержания хлорофилла является показателем степени вызревания и обеспеченности растений в азоте, способствует лучшему накоплению углеводов [54].

Однако существенных различий между контролем и опытными вариантами выявлено не было (табл. 4).

### Обсуждение

Увеличившийся интерес к отрасли питомниководства, предъявляет требования к качеству посадочного материала, полученного, в частности, методом клонального микроразмножения [55,56]. Одновременно с этим, увеличиваются и исследования по развитию плодово-ягодных растений на разных этапах этой технологии. До сих пор мало исследований по доращиванию *ex vitro* растений рода *Vaccinium* L. в условиях защищенного грунта [57,58,59,60], поэтому мы провели исследования в данной области.

Уже начиная с первых учётов, было зафиксировано положительное влияние факторов освещенности и вида минеральных удобрений, и взаимодействие их между собой (таблица 1).

По всей видимости, такая отзывчивость на разрабатываемые агротехнические приемы связана с тем, что в природных условиях, клюква болотная (*Vaccinium oxycoccos* L.) – представитель лесных ягодных дикоросов, ацидофильное растение, обитающее на торфяно-сфагновых болотах, характеризующиеся малым содержанием доступных элементов минерального питания [61,62]. Ведь в слаборазложившихся остатках мхов и других растений под живым ковром сфагнома (*Sphagnum* L.) содержание сухого вещества очень низкое, что определяет незначительный уровень зольных элементов, помимо этого, азот, фосфор и калий находятся в органическом веществе в форме, труднодоступной для усвоения [63,64].

Аммиачный азот считается наиболее подходящим источником, поскольку он более доступен в кислых почвах, чем нитратная форма, более того, было обнаружено, что удобрение аммонийным азотом приводит к большему вегетативному росту и более развитой корневой системе [65]. Обнаружено, что от 50 до 70% азота в листьях связано с ферментами, присутствующими в хлоропластах, что указывает на прямую связь между содержанием азота и хлорофилла. Однако, переизбыток азота, напротив, может вызвать избыточный рост, который повышает восприимчивость к болезням и вредителям, а также не вызревание побегов [66].

В то же время, в кислых болотных почвах наблюдается недоступность фосфора, который выпадет в осадок в связке с железом и алюминием, при этом, по данным исследователей, клюква проявляет устойчивость к высокой концентрации водородных ионов и способна поглощать фосфор из таких соединений, а высокие концентрации фосфора способны оказывать негативное воздействие [37,67].

Кроме этого, как и у всех растений рода *Vaccinium* L. – на корнях отсутствуют корневые волоски, поэтому поглощение воды и питательных веществ осуществляется клетками эпидермиса или мицелием микоризы, образующем симбиоз с микоризными грибами, как правило, с эрикоидной, арбускулярной и редко эндотрофной [68,69,70,71]. Также, следует отметить, что клюква способна образовывать корни из любой точки побегов, независимо от их ориентации, что широко используется при вегетативном размножении данной ягодной культуры [72].

Невысокие дозы минеральных удобрений увеличивают степень пробудимости почек и способствуют оптимальному росту побегов, что в влияет на качество посадочного материала и дальнейшего его развития [63,73].

Освещённость также играет немаловажную роль в развитии надземной системы вовремя доращивания *ex vitro* растений. По некоторым исследованиям, реакция роста на увеличение интенсивности света во время акклиматизации линейна, что свидетельствует о том, что более высокая PPFD может дополнительно увеличить рост и развитие саженцев [74].

Многочисленные исследования подтвердили, что спектральное сочетание красного и синего света в различных соотношениях достаточно эффективно для выращивания различных растений, в том числе растений рода *Vaccinium* L., в тепличных условиях [75,76]. Причём, светодиодный свет оказал большее влияние на измеряемые нами показатели клюквы в нашем исследовании (рисунок 4). Видимо, положительная реакция на дополнительное освещение также связана с морфологическими особенностями и строением растений.

Морфометрические показатели растений клюквы болотной, выращиваемой в культуре при оптимально подобранном минеральном питании и освещённости, значительно способны превосходить растения из природных условий, что является важной предпосылкой для дальнейших исследований в области доращивания *ex vitro* растений рода *Vaccinium* L.

### Заключение

Полученные нами результаты способствовали лучшему представлению условий доращивания *ex vitro* растений клюквы болотной (*Vaccinium oxycoccos* L.) с использованием различных типов освещения (фитосветом с 16-часовым фотопериодом и естественным освещением – без добавления дополнительного освещения) и подбора оптимальных доз минерального питания. Лучшими, при светодиодном освещении, вариантами были N<sub>16</sub>P<sub>20</sub>(S<sub>12</sub>) в концентрации 0,072 г/л и N<sub>15</sub>P<sub>15</sub>K<sub>15</sub>(S<sub>10</sub>) в концентрации 0,16 г/л.

Сведения могут быть полезны для получения качественного посадочного материала клюквы болотной (*Vaccinium oxycoccos* L.) и коммерческого использования для крупномасштабного производства.

**Об авторах:**

**Иван Владиславович Нечипоренко** – аспирант кафедры плодородия, виноградарства и виноделия института Садоводства и ландшафтной архитектуры ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, <https://orcid.org/0000-0002-1904-2695>, ResearcherID: HNS-2436-2022; автор для переписки, [vannechiporenko@gmail.com](mailto:vannechiporenko@gmail.com)

**Светлана Владимировна Акимова** – доктор сельскохозяйственных наук, доцент кафедры плодородия, виноградарства и виноделия института Садоводства и ландшафтной архитектуры ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, <https://orcid.org/0000-0002-7267-1220>, Scopus ID: 56872788000; автор для переписки, [akimova@rgau-msha.ru](mailto:akimova@rgau-msha.ru)

**Павел Олегович Казаков** – аспирант кафедры плодородия, виноградарства и виноделия, института Садоводства и ландшафтной архитектуры ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, <https://orcid.org/0000-0001-9387-9015>; автор для переписки, [paulkazako@gmail.com](mailto:paulkazako@gmail.com)

**About the Authors:**

**Ivan V. Nechiporenko** – PhD Student of the Department of fruit growing, viticulture and winemaking, Institute of Horticulture and landscape architecture, <https://orcid.org/0000-0002-1904-2695>, ResearcherID: HNS-2436-2022; Correspondence Author, [vannechiporenko@gmail.com](mailto:vannechiporenko@gmail.com)

**Svetlana V. Akimova** – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of fruit growing, viticulture and winemaking, Institute of Horticulture and landscape architecture, <https://orcid.org/0000-0002-7267-1220>, Scopus ID: 56872788000; Correspondence Author, [akimova@rgau-msha.ru](mailto:akimova@rgau-msha.ru)

**Pavel O. Kazakov** – PhD Student of the Department of fruit growing, viticulture and winemaking, Institute of Horticulture and landscape architecture, <https://orcid.org/0000-0001-9387-9015>; Correspondence Author, [paulkazako@gmail.com](mailto:paulkazako@gmail.com)

● **Литература**

- Karlsons A., Osvalde A., Čekstere G., Pormale J. Research on the mineral composition of cultivated and wild blueberries and cranberries. *Agronomy Research*. 2018;16(2):454-463. <https://doi.org/10.15159/AR.18.039>
- Курлович Т.В., Филипеня В.Л. Голубика для любителей и профессионалов. М.: DELIBRI; 2021. 168 с.
- Sater H.M., Bizzio L.N., Tieman D.M., Muñoz P.D. A review of the fruit volatiles found in berry and other *Vaccinium* species. *J. Agric. Food Chem.* 2020;68(21):5777-5786. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c01445>
- Song G.Q., Hancock J.F. In: Kole S. (Eds.). *Vaccinium. Wild crop relatives: Genomic and Breeding resources*. Springer, Berlin, Heidelberg; 2011. pp. 197-221. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-16057-8\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-642-16057-8_10)
- Gorbunov A., Tyak G., Makeev V., Kurlovich T. The introduction and breeding of Vaccinioideae in Russia. *BIO Web of Conferences. Northern Asia Plant Diversity: current trends in research and conservation 2021*. 2021;38(6):1-6. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213800038>
- Stang E.J. The north American cranberry industry. *V International Symposium on Vaccinium Culture*. 1993;(346):284-298. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1993.346.38>
- Stang E.J. The emerging cranberry industry in Chile. *VI International Symposium on Vaccinium Culture*. 1997;(446):159-164. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.446.23>
- Mackiewicz M. Information about cranberry growing in Poland. *III International Symposium on Vaccinium Culture*. 1985;(165):303-304. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1985.165.43>
- Lehmushovi A., Hokkanen H., Hiirsalmi H. Cranberry breeding in Finland. *V International Symposium on Vaccinium Culture*. 1993;(346):322-326. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1993.346.44>
- Сидорович Е.А., Титов И.В., Рубан Н.Н., Шерстеникина А.В. Культура клюквы крупноплодной в Белоруссии. *Брусничные в СССР: Ресурсы, интродукция, селекция: Сб. науч. тр.* Новосибирск: Наука. Сибирское отделение; 1990. С. 166-167.
- Курлович Т.В. Особенности выращивания и лекарственные свойства клюквы крупноплодной. *Материалы второй Международной научно-практической интернет-конференции «Лекарственное растениеводство: от опыта прошлого к современным технологиям»*. Полтава; 2013. С. 51-55.
- Jurikova T., Skrovankova S., Mlcek J., Balla S., Snopek L. Bioactive compounds, antioxidant activity, and biological effects of European cranberry (*Vaccinium oxycoccos*). *Molecules*. 2019;24(24):1-21. <https://doi.org/10.3390/molecules24010024>
- Česonienė L., Daubaras R., Jasutienė I. Selection of the European cranberry in Lithuania. *Agronomijos Vėstis*. 2009;(12):13-18.
- Горбунов А.Б., Кукушкина Т.А. Динамика химического состава ягод интродуцированных сортов и форм клюквы в условиях Центрального сибирского ботанического сада СО РАН. *Химия растительного сырья*. 2021;(4):241-249. <https://doi.org/10.14258/jcpm.2021048977>. EDN WJPXPY.
- Макаров С.С., Кузнецова И.Б., Упадывшев М.Т., Родин С.А., Чудецкий А.И. Особенности клонального микроразмножения клюквы болотной (*Oxycoccus palustris* Pers.). *Техника и технологии пищевых производств*. 2021;51(1):67-76. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-67-76>. EDN YIWIJCE.

- Крышняя С.В., Кордюков А.В. Клюква на юге острова Сахалин. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН; 2018. 127 с.
- Тяк Г.В., Курлович Л.Е., Макеев В.А., Макеева Г.Ю., Тяк А.В. Выращивание клюквы и голубики на землях лесного фонда, вышедших из-под торфодобычи. *Лесохозяйственная информация*. 2015;(1):72-78. EDN TXKXIB.
- Конюхова О.М., Хуртина А.В. Урожайность клюквы болотной в Республике Марий Эл. *Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений: материалы XIV Международной научной конференции*. Красноярск, СибГТУ; 2011. С. 61-63.
19. Растительные ресурсы. Большая российская энциклопедия; 2019 [протитировано 2 февраля 2023]. Доступно: <https://old.bigenc.ru/geography/text/5564496>
- Черкасов А.Ф., Буткус В.Ф., Горбунов А.Б. Клюква. Москва: «Лесная промышленность»; 1981. 214 с.
- Курлович Т.В., Павловская А.Г. Требования к саженцам клюквы крупноплодной. *Актуальные проблемы размножения ягодных культур и пути их решения: материалы Международной научно-методической дистанционной конференции*. 2010. С. 151-155.
- Сидорович Е.А., Рубан Н.Н., Шерстеникина А.В. Интродукция и опыт выращивания клюквы крупноплодной, голубики высокой и брусники. Минск: БелНИИТИ, 1991. 52 с.
- Ostrolucká M.G., Gajdošová A., Libíková G., Hrubíková K., Bežo M. In: Jain, S.M., Häggman, H. (Eds). Protocol for micropropagation of selected *Vaccinium* spp. Protocols for Micropropagation of Woody Trees and Fruits. Dordrecht; 2007. pp. 445-455. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6352-7\\_41](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6352-7_41)
- Debnath S.C. Propagation and cultivation of *Vaccinium* species and less known small fruits. *Agronomijos Vėstis*. 2009;(12):22-29.
- Черемных Е.Н., Леконцева Т.Г., Худякова А.В., Фёдоров А.В. Клональное микроразмножение клюквы болотной (*Vaccinium oxycoccos* L.) в Удмуртской Республике. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021;22(1):57-66. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.57-66>
- Высоцкий В.А. Клональное микроразмножение плодовых растений и декоративных кустарников. Микроразмножение и оздоровление растений в промышленном плодородстве и цветоводстве: Сб. науч. тр. ВНИИС им. И.В. Мичурина. 1989. С. 3-8.
- Акимова С.В., Раджабов А.К., Бухтин Д.А., Киркач В.В., Аладина О.Н., Деменко В.И., Белошапкина О.О. Адаптация к нестерильным условиям растений винограда укорененных *in vitro* на питательной среде, обогащенной кремнийорганическими соединениями. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2019;(5):34-53. <https://doi.org/10.34677/0021-3420-2019-5-34-53>. EDN WBTOUQ.
- Kozai T. In: Bajaj Y.P.S. (Ed.) *Acclimatization of micropropagated plants. Biotechnology in Agriculture and Forestry, Vol. 17 High-Tech and Micropropagation I*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 1991. pp. 127-140. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-76415-8\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-642-76415-8_8)
- Clapa D., Fira A., Vescan L.A. Aspects regarding the *in vitro* culture and ex vitro rooting in *Vaccinium macrocarpon* cultivar 'Pilgrim'. *Bulletin UASVM Animal Science and Biotechnologies*. 2012;69(1-2):226-234. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-asb:69:1-2:8489>
- Pospíšilová J., Tichá I., Kadleček P., Haisel D., Plzák Š. Acclimatization of micropropagated plants to ex vitro conditions. *BIOLOGIA PLANTARUM*. 1999;(42):481-497. <https://doi.org/10.1023/A:1002688208758>

31. Рупасова Ж.А., Игнатенко В.А., Русаленко В.Г., Рудаковская Р.Н. Развитие и метаболизм клюквы крупноплодной в Белорусском Полесье. Мн.: Наука и техника, 1989. 205 с.
32. Hazarika B.N. Acclimatization of tissue-cultured plants. *CURRENT SCIENCE*. 2003;85(12):1704-1712.
33. Божидай Т.Н., Кухарчик Н.В. Укоренение *in vitro* и *ex vitro* голубики сорта Duke. Опыт и перспективы возделывания голубики на территории Беларуси и сопредельных стран: материалы международной научной конференции, 17-18 июля 2014 г., г. Минск. 2014. С. 15-21.
34. Pico-Mendoza J.N., Garcia-Gonzales R., Quiroz K., Chong B., Pino H., Carrasco B. *In vitro* propagation of Gaultheria pumila (L.f.) D.J. Middleton (Ericaceae), a Chilean native berry with commercial potential. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*. 2021;48(2):83-96. <https://doi.org/10.7764/ijanr.v48i2.2310>
35. Meneses L.S., Morillo L.E., Vásquez-Castillo W. *In vitro* propagation of *Vaccinium floribundum* Kunth from seeds: promissory technology for mortiflo accelerated production. *Canadian Science Publishing*. 2022;102(1):216-224. <https://doi.org/10.1139/CJPS-2020-0290>
36. Sutter E. Use of Humidity tends and antitranspirants in the acclimatization of tissue cultured plants to greenhouse. *Sci. Hort.* 1984;(23):303-312.
37. Darnell R.L., Stutte G.W., Martin G.C., Lang G.A., Early J.D. In: Janick J. (Ed.). Development physiology of rabbiteye blueberry. *Horticultural Reviews* Vol. 13. John Wiley & Sons, Inc.; 1992 pp. 339-406 <https://doi.org/10.1002/9780470650509.ch9>
38. Макаров С.С., Родин С.А., Кузнецова И.Б., Макеева Г.Ю., Макеев В.А. Укоренение в культуре *in vitro* и адаптация клюквы болотной (*Oxycoccus palustris* Pers.) к нестерильным условиям. *Лесохозяйственная информация*. 2020;(4):105-112. <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2020.4.11>. EDN INJJWT.
39. Kim J.K., Shawon M.R.A., An J.H., Yun Y.J., Park S.J., Na J.K., Choi K.Y. Influence of substrate composition and container size on the growth of tissue culture propagated apple rootstock plants. *Agronomy*. 2021;11(12):1-12. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122450>
40. Wright R.D., Niemiera A.X. In: Janick J. Nutrition of container-grown woody nursery crops. *Horticultural Reviews* Vol. 9. Van Nostrand Reinhold Company;1987 pp. 75-102. <https://doi.org/10.1002/9781118060827.ch3>
41. Brix, H., van den Driessche R. In: Tinus R.W., Stein W.I., Balmer W.E. (Eds.). Mineral nutrition of container-grown tree seedlings. *Proceedings of the North American Containerized Forest Tree Seedling Symposium*. Denver, Colorado, August 26-29; 1974. pp. 77-84.
42. Акимова С.В. Новые элементы в технологии черенкования садовых растений. Применение регуляторов роста для базальных и внекорневых обработок; получение материала с изолированной корневой системой. LA LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG;2012. 260 с.
43. Agrawal S.B., Singh S., Agrawal M. Role of light plant development. *International Journal of Plant and Environment*. 2015;1(1): 43-56. <https://doi.org/10.18811/ijpen.v1i1.7113>
44. Jaakola L., Tolvanen A., Laine K., Hohtola A. Effect of N6-isopentenyladenine concentration on growth initiation *in vitro* and rooting of bilberry and lingonberry. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* 2001;(66):73-77. <https://doi.org/10.1023/A:1010602726215>
45. Dutta Gupta S., Agarwal A. In: Dutta Gupta S. (Eds.). Influence of LED Lighting on *in vitro* plant regeneration and associated cellular redox balance. *Light Emitting Diodes for Agriculture: Smart Lighting*. Springer Singapore;2017. pp. 273-303. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-5807-3\\_12](https://doi.org/10.1007/978-981-10-5807-3_12)
46. Lloyd G., McCown B. Commercially-feasible micropropagation of mountain laurel, *Kalmia latifolia*, by use of shoot-tip culture. *Proceedings of the International Plant Propagator's Society*. 1980;30:421-426.
47. Зонтиков Д.Н., Зонтикова С.А., Малахова К.В., Марамохин Э.В. Влияние состава питательных сред и регуляторов роста при клональном микроразмножении некоторых полиплоидных форма рода *Vaccinium* L. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2019;21(2):39-44.
48. Marcotrigiano M., McGlew S.P. A two-stage micropropagation system for cranberries. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 1991;116(5):911-916. <https://doi.org/10.21273/JASHS.116.5.911>
49. Akimova S.V., Kirkach V.V., Demenko V.I., Malevannaya N.N. Recultivation of micro-plants of perpetual raspberry after deposition in the culture room conditions on the nutrient media with the use of modifications of the Superstim product in low and ultra-low doses. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2021;(663):1-6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/663/1/012002>
50. Кухарчик Н.В., Кастрицкая М.С., Семенас С.Э., Колбанова Е.В., Красинская Т.А., Волосевич Н.Н., Соловей О.В., Змушко А.А., Божидай Т.Н., Рудня А.П., Малиновская А.М. Размножение плодовых растений в культуре *in vitro*; под общей ред. Кухарчик Н.В. Минск: Беларуская навука; 2016. 208 с.
51. Guang-jie Z., Zhan-bin W., Dam W. *In vitro* propagation and *ex vitro* rooting of blueberry plantlets. *Plant Tissue Cult. & Biotech.* 2008;18(1):187-195. <https://doi.org/10.3329/ptcb.v18i2.3650>
52. Erst A., Gorbunov A., Karakulov A. Rooting and acclimatization of *in vitro* propagated microshoots of the *Ericaceae*. *Journal of Applied Horticulture*. 2018;20(3):177-181. <https://doi.org/10.37855/jah.2018.v20i03.31>
53. Исачкин А.В., Крючкова В.А. Основы научных исследований в садоводстве: учебник для вузов; под редакцией А.В. Исачкина. Санкт-Петербург: Лань; 2020. 420 с.
54. Zhang F., Wei Z., Jeranyama P., DeMoranville C., Hou H.J.M. A significant loss in photosynthetic activity associated with the yellow vine syndrome of cranberry. *HortScience*. 2011;46(6):901-907. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.6.901>
55. Кузибав Т. Критерии подбора растительного материала для размножения *in vitro* и закладки ягодных плантаций на примере голубики садовой. *Ягоды России: научно-практический журнал для профессионалов ягодной отрасли*. 2022;(2(6)):18-21.
56. Debnath S.C., Vyas P., Goyal J.C., Igamberdiev A.U. Morphological and molecular analyses in micropropagated berry plants acclimatized under *ex vitro* conditions. *Canadian Journal of Plant Science*. 2012;92(6):1065-1073. <https://doi.org/10.4141/cjps2011-194>
57. Debnath S.C. Strategies to propagate *Vaccinium* nuclear stocks for the Canadian berry industry. *Canadian Journal of Plant Science*. 2007;87(4):911-922. <https://doi.org/10.4141/P06-131>
58. Tejada-Alvarado J.J., Meléndez-Mori J.B., Vilca-Valqui N.C., Huaman-Huaman E., Lapiz-Culqui Y.K., Neri J.C., Prat M.L., Oliva M. Optimizing factors influence micropropagation of 'Bluecrop' and 'Biloxi' blueberries and evaluation of their morpho-physiological characteristics during *ex vitro* acclimatization. *Journal of Berry Research*. 2022;12(3):347-364. <https://doi.org/10.3233/JBR-211565>
59. Clapa D., Bunea C., Borsai O., Pintea A., Hârta M., Ștefan R., Fira A. The role of Sequestrene 138 in highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) micropropagation. *HortScience*. 2018;53(10):1487-1493. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.113269-18>
60. Akimova S., Radzhabov A., Esaulko A., Samoshenkov E., Nechiporenko I., Kazakov P., Voskoboinikov Yu., Matsneva A., Zubkov A., Aisanov T. Improvement of *ex vitro* growing completion of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) in containers. *Forests*. 2022;13(10):1550. <https://doi.org/10.3390/f13101550>
61. Jacquemart A-L. *Vaccinium oxycoccus* L. (*Oxycoccus palustris* Pers.) and *Vaccinium microcarpum* (Turcz. ex Rupr.) Schmalh. (*Oxycoccus microcarpus* Turcz. ex Rupr.). *Journal of Ecology*. 1997;85(3):381-396. <https://doi.org/10.2307/2960511>
62. Кучеров И.Б., Кутенков С.А. Олиготрофные сфагновые и сфагново-зеленомощные ельники Европейской России и Урала. *Ботанический журнал*. 2019;104(1):12-40. <https://doi.org/10.1134/S000681361901006X>. EDN VWWJAL.
63. Сидорович Е.А., Кудинов М.А., Рубан Н.Н., Шерстеникина А.В., Рупасова Ж.А., Шапиро Д.К., Горленко С.В. Клюква крупноплодная в Белоруссии. Мн.: Наука и техника;1987. 238 с.
64. Hagerup O. Studies on the significance of polyploidy (IV. *Oxycoccus*). *Hereditas*. 1940;26(3-4):399-410. <https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.1940.tb03244.x>
65. Esposti M.D.D., de Siqueira D.L., Pereira P.R.G., Venegas V.H.A., Salomão L.C.C., Filho J.A.M. Assessment of nitrogenized nutrition of citrus rootstock using chlorophyll concentration in the leaf. *Journal of Plant Nutrition*. 2003;26(6):1287-1299. <https://doi.org/10.1081/PLN-120020371>
66. Davenport J. DeMoranville C. Nitrogen management in cranberry status. Cranberry Station Best Management Practices Guide – 2000 Edition;1997 pp. 1-2.
67. Medappa K.C., Dana M.N. Influence of pH, calcium, iron, and aluminum on the uptake of radiophosphorus by cranberry plant. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 1968;32(3):381-383. <https://doi.org/10.2136/sssaj1968.03615995003200030032x>

68. Scagel C.F. Mycorrhizal status of sand-based cranberry (*Vaccinium macrocarpon*) bogs in Southern Oregon. *Small Fruits Review*. 2003;2(1):31-41. [https://doi.org/10.1300/j301v02n01\\_04](https://doi.org/10.1300/j301v02n01_04)
69. Wei X., Zhang W., Zulfiqar F., Zhang C., Chen J. Ericoid mycorrhizal fungi as biostimulants for improving propagation and production of ericaceous plant. *Front. Plant Sci*. 2022;1-14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1027390>
70. Чижик О.В., Решетников В.Н., Филипеня В.Л., Горбачевич В.И., Картыжова Л.Е., Алещенков З.М. Влияние микроорганизмов на адаптацию клонированного посадочного материала древесно-кустарниковых видов рода *Vaccinium*. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2013;45(3):254-259. EDN VUNNPU.
71. Lareau M.J. Rooting and establishment of *in vitro* blueberry plantlets in the presence of mycorrhizal fungi. *III International Symposium on Vaccinium Culture*. 1985;(165):197-202. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1985.165.26>
72. Rodriguez-Saona C., Vorsa N., Singh A.P., Johnson-Cicalese J., Szendrei Z., Mescher M.C., Frost C.J. Tracing the history of plant trains under domestication in cranberries: potential consequences on anti-herbivore defences. *Journal of Experimental Botany*. 2011;62(8):2633-2644. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq466>
73. Makeev B.A., Черкасов А.Ф. Роль минеральных удобрений в выращивании клюквы на плантациях. *Экологические свойства брусничных ягодных растений в природе и культуре. Тезисы докладов Межреспубликанского совещания*. 1989. С. 92-93.
74. Gómez C., Poudel M., Yegros M., Fisher P.R. Radiation intensity and quality affect indoor acclimatization of blueberry transplants. *HortScience*. 2021;56(12):1521-1530. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI16189-21>
75. Brazaitytė A., Ulinskaitė R., Dočovskis P., Samuolienė G., Siksnianienė J.B., Jankauskienė J., Sabqievienė G., Baranouskis K., Stanienė G., Tamulaitis G., Bliznikas Z., Zukauskas A. Optimization of lighting spectrum for photosynthetic system and productivity of lettuce by using light-emitting. *V International Symposium on Artificial Lighting in Horticulture*. 2006;(711):183-188. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.711.22>
76. Wen X., Xu L., Wei R. Research on control strategy of light and CO<sub>2</sub> in blueberry greenhouse based on coordinated optimization model. *Agronomy*. 2022;12(12):1-16. <https://doi.org/10.3390/agronomy12122988>
20. Cherkasov A.F., Butkus V.F., Gorbunov A.B. Cranberry. Moscow: 'Forest Industry'; 1981. 214 p. (In Russ.)
21. Kurlovich T.V., Pavlovskaya A.G. Requirements for seedlings of large cranberry. *Actual problems of berry crops propagation and ways of their decision: material of International scientific-methodical remote conference*. 2010. P. 151-155. (In Russ.)
22. Sidorovich E.A., Ruban N.N., Sherstenikina A.V. Introduction and experience of growing large cranberry, highbush blueberry and lingonberry. Minsk: BelRISTIT; 1991. 52 p. (In Russ.)
25. Cheremnykh E.N., Lekontseva T.G., Khudyakova A.V., Fedorov A.V. Clonal micropropagation of bog cranberry (*Vaccinium oxycoccos* L.) in the Udmurt Republic. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2021;22(1):57-66. (In Russ.) <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.57-66>
26. Vysotsky V.A. Clonal micropropagation of fruit plants and ornamental shrubs. *Micropropagation and improvement of plants in industrial horticulture and floriculture: Collection of scientific works of All-Russian Research Institute of Horticulture named after I.V. Michurin*. 1989;3-8. (In Russ.)
27. Akimova S.V., Radzhabov A.K., Bukhtin D.A., Kirkach V.V., Aladina O.N., Demenko V.I., Beloshapkina O.N. Adaptation to non-sterile conditions of grape plants rooted *in vitro* in a nutrient media enriched by organosilicon compounds. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy (TAA)*. 2019;(5):34-53. (In Russ.) <https://doi.org/10.34677/0021-3420-2019-5-34-53>. EDN WBTOUQ.
31. Rupasova J.A., Ignatenko V.A., Rusalenko V.G., Rudakovskaya R.N. Development and metabolism of large cranberry in Belarusian Polesie. Minsk, Nauka and tekhnika; 1989. 205 p. (In Russ.)
33. Bozhidai T.N., Kukharchik N.V. *In vitro* and *ex vitro* rooting of blueberry cultivar Duke. *Experience and prospects of blueberry cultivation in Belarus and neighbouring countries: proceedings of international scientific conference, 17-18 July 2014, Minsk*. 2014. P. 15-21. (In Russ.)
38. Makarov S.S., Rodin S.A., Kuznetsova I.B., Makeeva G.Y., Makeev V.A. Rooting *in vitro* culture and adaptation of marsh cranberry (*Oxycoccus palustris* Pers.) to non-sterile conditions. *Forestry information*. 2020;(4):105-112. (In Russ.) <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2020.4.11>. EDN INJJWT.
42. Akimova S.V. New elements in the technology of cuttings of horticultural plants. Application of growth regulators for basal and foliar treatment; obtaining material with an isolated root system. LA LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG; 2012. 260 p. (In Russ.)
47. Zontikov D.N., Zontikova S.A., Malahova K.V., Maramohin E.V. Influence of the composition of nutritional media and growth regulators during clonal micropropagation of some polyploid forms of the genus *Vaccinium* L. *Izvestiya of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2019;21(2):39-44. (In Russ.)
50. 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., Rudina A.P., Malinovskaya A.M. Propagation of fruit plants in culture *in vitro*; ed. Kukharchik N.V. Minsk: Belaruskaya navuka; 2016. 208 p. (In Russ.)
53. Isachkin A.V., Kryuchkova V.A. Fundamentals of scientific research of horticulture: textbook for universities; ed. Isachkin A.V. Saint Petersburg: Lan; 2020. 420 p. (In Russ.)
55. Kusibab T. Criteria for selection of plant material for *in vitro* propagation and establishment of berry plantations on the example of garden blueberry. *Berries of Russia: a scientific and practical journal for berry industry professionals*. 2022;(2(6)):18-21. (In Russ.)
62. Kucherov I.B., Kutenkov S.A. Oligotrophic peatmoss forests of European Russia and Urals. *Botanicheskii Zhurnal*. 2019;104(1):12-40. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S000681361901006X>. EDN VWWJAL.
63. Sidorovich E.A., Kudinov M.A., Ruban N.N., Sherstenikina A.V., Rupasova J.A., Shapiro D.K., Gorlenko S.V. Bog cranberry in Belarus. Minsk.: Nauka i tekhnika; 1987. 238 p. (In Russ.)
70. Chizhik O.V., Reshetnikov V.N., Filipenya V.L., Gorbachevich V.I., Kartzyzhova L.E., Aleschnkov Z.M. The microorganisms influence on adaptation of clonal planting stock of hardy-shrub species of *Vaccinium*. *Physiology and biochemistry of cultivated plants*. 2013;45(3):254-259. EDN VUNNPU. (In Russ.)
73. Makeev V.A., Cherkasov A.F. The role of mineral fertilizers in cultivation of cranberry on plantations. Ecological properties of lingonberry berry plants in nature and culture. Thesis of report of Inter-republican meeting. 1989. P. 92-93. (In Russ.)

## References

2. Kurlovich T.V., Filipenya V.L. Blueberries for amateurs and professionals. M.: DELIBRI; 2021. 168 p. (In Russ.)
10. Sidorovich E.A., Titov I.V., Ruban N.N., Sherstenikina A.V. Culture of large cranberries in Belarus. Lingonberry in the USSR. Resources, introduction, selection: *Collection of scientific papers*. Novosibirsk: Nauka. Siberian Branch; 1990. P. 166-167. (In Russ.)
11. Kurlovich T.V. Peculiarities of cultivation and medicinal properties of large cranberry. Proceedings of the Second International Scientific and Practical Internet-Conference 'Medicinal herbalism: from past experience to modern technologies'. Poltava; 2013. P. 51-55. (In Russ.)
14. Gorbunov A.B., Kukushkina T.A. Dynamics of the chemical composition of berries of introduced cultivars and forms of cranberries in the conditions of central Siberian Botanical Garden SB RAS. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*. 2021;(4):241-249. (In Russ.) <https://doi.org/10.14258/jcprm.2021048977>. EDN WJXPXY.
15. Makarov S.S., Kuznetsova I.B., Upadyshev M.T., Rodin S.A., Chudetsky A.I. Features of clonal micropropagation of bog cranberry (*Oxycoccus palustris* Pers.). Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(1):67-76. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-67-76>. EDN YIWJCE.
16. Kryshnaya S.V., Kordyukov A.V. Cranberry in the south of Sakhalin Island. Yuzhno-Sakhalinsk: IMGG FEB RAS; 2018. 127 p. (In Russ.)
17. Tyak G.V., Kurlovich L.E., Makeev V.A., Makeeva G.Y., Tyak A.V. Cranberry and blueberry production in forest lands abandoned after peat production. *Forestry information*. 2015;(1):72-78. EDN TXKXIB. (In Russ.)
18. Konyukhova O.M., Khurtina A.V. Yield of bog cranberry in the Republic of Mari El. Gardening, seed growing, introduction of woody plants: materials of the XIV International Scientific Conference. Krasnoyarsk: SibSTU; 2011. P. 61-63. (In Russ.)
19. Plant resources. The Big Encyclopedia; 2019 [cited 2 February 2023]. Available from: <https://old.bigenc.ru/geography/text/5564496> (In Russ.)