

УДК 541.14:547.551.2:58.084.2:634.723.1

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2026.1.9

## ВЛИЯНИЕ СОКА СМОРОДИНЫ ЧЕРНОЙ (*RIBES NIGRUM L.*) СОРТОВ БАШКИРСКОЙ СЕЛЕКЦИИ НА ПРОЦЕСС ОКИСЛЕНИЯ ЭТАНОЛА

© Р. Н. Насретдинова<sup>1</sup>, Г. Г. Гарифуллина<sup>1\*</sup>, М. М. Ишмуратова<sup>1</sup>,  
Л. А. Головина<sup>1,2</sup>, А. Р. Ишбирдин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Уфимский университет науки и технологий,  
Россия, Республика Башкортостан, 450076 г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32.

<sup>2</sup>Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства  
Обособленное структурное подразделение УФИЦ РАН,  
Россия, Республика Башкортостан, 450059 г. Уфа, ул. Зорге, 19.

\*Email: Garifa@inbox.ru

*Исследовано влияние сока из ягод смородины черной (*Ribes nigrum L.*) сортов башкирской селекции (Бельская, Бобровая, Валовая, Караидель, Эстафета, Чижма, Кушнарниковская, Ирмель, Труженица) на процесс радикально-цепного окисления этанола. Способность сока *R. nigrum* к снижению скорости процесса окисления количественно охарактеризована величиной относительного снижения скорости окисления спирта. Установлена зависимость антиокислительной активности (АОА) сока *R. nigrum* как от сорта плодов, так и от объемной доли сока в реакционной среде. Максимальный эффект выявлен у сорта Эстафета (до 62,8%). Методика показала высокую чувствительность и применимость для оценки суммарной АОА. На ингибирующую активность сока ягод смородины влияет процесс заморозки и разморозки ягод.*

**Ключевые слова:** антиокислительная активность сока *R. nigrum*, сорта башкирской селекции, скорость поглощения кислорода, ингибиторы окисления.

### Введение

Смородина черная (*Ribes nigrum L.*) – ценная ягода, отличающаяся высоким содержанием витамина С, антоцианов, флавоноидов и других фенольных соединений. Эти компоненты проявляют выраженные антиоксидантные свойства, нейтрализуя активные формы кислорода и предотвращая развитие окислительного стресса в организме [1–2]. Регулярное потребление продуктов, богатых природными антиоксидантами, ассоциируется со снижением риска сердечно-сосудистых, воспалительных и онкологических заболеваний [3].

Зарубежные исследования показывают, что антиоксидантный потенциал смородины варьируется в зависимости от сорта, агроклиматических условий, стадии зрелости и типа исследуемого сырья (ягоды, листья, почки) [4]. В отечественной литературе также подчеркивается значение сортовых особенностей. Так, в исследовании Н. В. Макаровой (2015) [5] показано, что ягоды *R. nigrum* обладают высокой антиоксидантной активностью, обусловленной высоким содержанием фенольных соединений и витамина С.

В работе С. Л. Аджихметовой и соавт. [6] установлена высокая антиоксидантная активность спиртовых экстрактов листьев *R. nigrum*. В условиях Республики Башкортостан сортовое разнообразие *R. nigrum* дополняется адаптацией к климатическим условиям региона [7], что делает ее перспективным объектом для фитохимического анализа. В недавнем исследовании Г. Г. Гарифуллиной и др. [8] была подтверждена высокая антиоксидантная активность спиртовых экстрактов почек смородины черной сортов башкирской селекции, при этом осенний сбор продемонстрировал преимущество по антиоксидантной активности перед осенним сбором.

На фоне этих данных остается слабоизученным антиоксидантный потенциал сока ягод сортов *R. nigrum* башкирской селекции, в частности его влияние на модельные окислительные процессы, такие как окисление этанола. Учитывая то, что сок является одной из основных форм потребления ягод, его исследование представляется актуальным и практически значимым.

**Цели исследования:** изучение влияния сока из ягод *R. nigrum* сортов башкирской селекции на скорость окисления этанола как модельного процесса, отражающего антиоксидантную активность. Количественная характеристика антиоксидантной активности сока, извлеченного из свежих и замороженных ягод смородины. Сравнение антиоксидантной активности сока смородины и экстрактивных веществ из почек смородины.

### Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлся сок из ягод *R. nigrum* сортов селекции Башкирского НИИСХ УФИЦ РАН: Бельская, Бобровая, Валовая, Караидель, Эстафета, Чижма, Кушнарниковская, Ирмель, Труженица [9]. Плоды *R. nigrum* собирали во время их полного созревания летом 2024 г. в Кушнарниковском селекционном центре по плодово-ягодным культурам и винограду Башкирского НИИСХ УФИЦ РАН. Для испытаний выжимали сок из ягод *R. nigrum* непосредственно перед экспериментом. В качестве модельного субстрата окисления использо-

вали этанол. Механизм жидкофазного окисления этанола хорошо изучен и представляет собой радикально-цепной процесс с обязательными стадиями зарождения, продолжения и обрыва цепей [8]. Для этанола в литературе известны значения элементарных констант скоростей реакций продолжения и обрыва, по этой причине он является хорошим модельным субстратом [8]. Окислителем является кислород атмосферного воздуха. Кинетику окисления этанола изучали по поглощению растворенного кислорода в жидкой фазе [10–11]. Количество поглощенного кислорода измеряли на манометрической установке. Установка имеет два реактора: в одном из них протекает процесс окисления; за счет другого реактора устраняются физические эффекты расширения газовой фазы. Благодаря этому установка высокочувствительна, позволяет измерять скорость процесса до  $10^{-7}$  моль/(л·с). В специальных опытах установлен кинетический режим окисления, в данном режиме цепи окисления этанола ведут окислительные, оксипероксильные радикалы.

Эксперименты проводили при температуре 348 К в изотермических условиях.

Иницированное окисление этанола в стандартных условиях эксперимента протекает в кинетическом режиме по радикально-цепному механизму с квадратичным обрывом цепи по реакции (VI) и включает общий для большинства органических соединений ряд элементарных стадий:

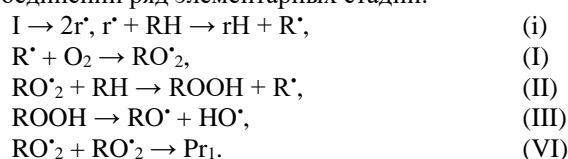
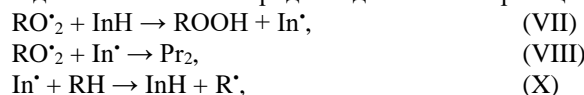


Схема окисления спирта с добавками сока смородины дополняется реакциями VII, VIII и X:



где I – инициатор, RH – субстрат окисления, InH – ингибитор, Pr<sub>1</sub> и Pr<sub>2</sub> – молекулярные продукты, R<sup>•</sup> и RO<sub>2</sub><sup>•</sup> – оксислительные и оксипероксильные радикалы этанола соответственно.

### Результаты эксперимента и обсуждение

По результатам исследований установлено, что в кинетике окисления этанола в присутствии инициатора азодиизобутиронитрила (АИБН) подтверждена кинетическая чистота модельной системы, соответствующая литературным данным [8]. В последующих экспериментах в реакционную среду добавляли одинаковые объемные доли свежесобранного сока сортов *R. nigrum*. На рис. представлены типичные кинетические кривые поглощения кислорода в стандартной системе и при введении сока из ягод смородины черной (сорт Кушнарниковская).

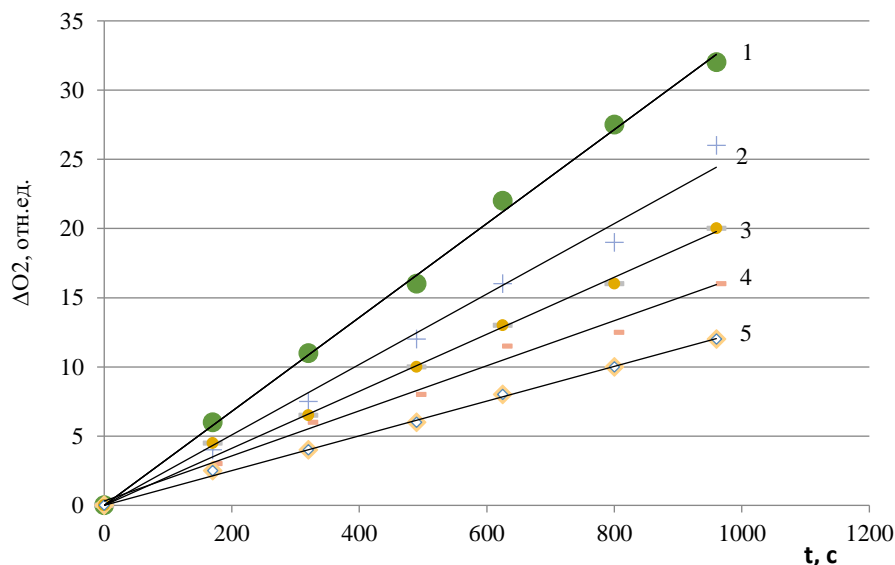


Рис. Кинетические кривые поглощения кислорода этанолом в отсутствие (1) и в присутствии 0,0025 (2) и 0,005 (3) объемных долей сока *R. nigrum* (сорт Кушнарниковская) после заморозки, в присутствии 0,0025 (4) и 0,005 (5) объемных долей свежесобранного сока *R. nigrum* (сорт Кушнарниковская).

$T = 348 \text{ K}$ ,  $V_i = 6,6 \cdot 10^{-7} \text{ моль/(л·с)}$ .

Как следует из рис., добавки сока смородины (сорт Кушнаренокская) приводят к снижению скорости процесса окисления спирта. При этом наблюдается закономерное снижение скорости процесса окисления с повышением доли сока в реакционной системе. С добавкой сока снижение скорости поглощения кислорода однозначно доказывает антиокислительные свойства сока *R. nigrum*: чем больше эффект снижения скорости реакции, тем большей антиокислительной активностью обладает добавленная проба. Анализ кривых показывает достоверное снижение скорости поглощения кислорода при добавлении сока *R. nigrum*, что однозначно указывает на наличие антиокислительных (антиоксидантных) свойств. Чем выше степень торможения реакции, тем большей антиоксидантной активностью (АОА) обладает сок. Эффект усиливается при увеличении объемной доли сока: при  $\varphi = 0,0025$  снижение скорости варьируется в пределах 10–50%, а при  $\varphi = 0,005$  достигает 62,8%. При дальнейшем повышении концентрации сока в системе, наблюдается почти полное торможение процесса, что затрудняет количественную оценку АОА.

Максимальная АОА зарегистрирована у сорта Эстафета: при  $\varphi = 0,0025$  скорость окисления  $V = 1,5 \cdot 10^{-6}$  моль/(л·с), при  $\varphi = 0,005$  –  $1,2 \cdot 10^{-6}$  моль/(л·с), что соответствует снижению на 53,5% и 62,8% соответственно. Вероятно, это обусловлено высоким содержанием флавоноидов и антоцианов, способных эффективно взаимодействовать с оксипероксильными радикалами  $ROO^{\bullet}$  по реакции (VII).

Выраженная сортоспецифичность проявляется при сравнении: у сорта Кушнаренокская АОА возрастает от 7,6% до 61,0% при увеличении концентрации сока, аналогичный эффект наблюдается у сортов Труженица и Чишма. Это указывает на наличие пороговой концентрации антиоксидантных соединений, необходимой для реализации их ингибирующей функции. Вероятно, взаимное влияние ингибирующих компонентов в соке (как усиление эффекта торможения, так и антагонизм) снижает эффект торможения скорости модельной реакции.

Напротив, у сортов Бобровая и Иремель АОА остается стабильной при обеих дозировках (44,1–46,5% и 29,9–31,7%), что может свидетельствовать о высоком базовом уровне антиоксидантов. У сортов Валовая, Карaidель и особенно Бельская активность остается низкой или умеренной даже при повышении доли добавки.

Таким образом, результаты эксперимента подтверждают, что соки *R. nigrum* демонстрируют выраженное сортоспецифическое ингибирующее действие на радикально-цепной процесс окисления этанола, зависящее как от качественного и количественного состава антиоксидантов, так и от их концентрации в системе. Следует отметить, что методика позволяет количественно оценить суммарную антиоксидантную активность сока смородины. В свою очередь, на суммарную антиоксидантную активность оказывает взаимное влияние компонентов, содержащихся в соке смородины, – это синергизм, антагонизм и аддитивное влияние эффектов. Для оксипероксильных радикалов этанола характерна регенерация молекул ингибиторов в реакциях обрыва цепей окисления, что тоже усиливает эффект торможения процесса окисления модельного субстрата [12].

Проведено исследование по влиянию сока из свежесобранной и замороженной смородины для исследованных ее сортов. В присутствии добавок сока из летнего сбора ягод скорость поглощения кислорода в модельной системе на 12–27% ниже, чем в присутствии сока из замороженных ягод (рис.). Следовательно, суммарное ингибирующее действия сока, полученного из замороженной смородины, ниже, чем сока из свежих ягод летнего сбора.

Сок смородины исследованных сортов Башкирской селекции обладает большей ингибирующей активностью по сравнению с влиянием спиртовых экстрактов, полученных из почек смородины [8]. Для сорта Эстафета спиртовой экстракт их почек весеннего сбора снижает скорость реакции на 23,0%, в то время как сок из замороженных ягод – на 62,8%, сок из ягод свежего сбора – на 74,8%. Полученные результаты согласуются с данными, приведенными в работе Т. С. Поповой [13].

Полученные данные позволяют рекомендовать сок смородины и спиртовые экстракты из почек смородины в качестве добавок для снижения скорости нежелательных окислительных процессов брожения, гниения в производстве пищевых продуктов и для производства компонентов лекарственных препаратов.

### Заключение

Проведенное исследование позволило выявить выраженную антиоксидантную активность соков сортов смородины черной (*Ribes nigrum* L.) башкирской селекции, проявляющуюся в ингибировании модельного процесса радикально-цепного окисления этанола. Показано, что степень торможения реакции напрямую зависит от сортовой принадлежности и концентрации добавленного сока. Наиболее высокий антиоксидантный эффект зафиксирован у сорта Эстафета, что, вероятно, связано с высоким содержанием флавоноидов и антоцианов. У ряда сортов (Кушнаренокская, Труженица, Чишма) наблюдается выраженное увеличение антиоксидантной активности при повышении концентрации добавки, в то время как у других (Бобровая, Иремель) активность остается стабильной, что может указывать на высокую исходную концентрацию биологически активных веществ. Полученные результаты подтверждают сортоспецифичность антиоксидантных свойств *R. nigrum* и подчеркивают перспективность дальнейших фитохимических и биофармакологических исследований сортов башкирской селекции с целью их использования в создании функциональных продуктов питания и фитопрепаратов. Установлено снижение суммарного ингибирующего действия сока, полученного из замороженной смородины для всех исследованных 9 ти сортов башкирской селекции по сравнению с соком, выжатым из свежих ягод летнего сбора.

Работа выполнена в рамках темы научной школы «Разнообразие, популяционные и онтогенетические механизмы устойчивости, охрана, воспроизводство и рациональное использование растительных ресурсов» Уфимского университета науки и технологий, по теме «Создать новые сорта яблони, груши, смородины и винограда с высокой продуктивностью и устойчивостью к действию абиотических и биотических стрессоров в условиях Республики Башкортостан» Башкирского научно-исследовательского института сельского хозяйства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Staszowska Karkut M., Materska M. Phenolic composition, mineral content, and beneficial bioactivities of leaf extracts from black currant (*Ribes nigrum* L.), raspberry (*Rubus idaeus*), and aronia (*Aronia melanocarpa*) // *Nutrients*. 2020. Vol. 12. No. 2. P. 463. DOI: 10.3390/nu12020463.
2. Moyer R. A., Hummer K. E., Finn C. E. et al. Anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity in diverse small fruits: *Vaccinium*, *Rubus*, and *Ribes* // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2002. Vol. 50. No. 3. P. 519–525.
3. Manach C., Scalbert A., Morand C., et al. Polyphenols: food sources and bioavailability // *American Journal of Clinical Nutrition*. 2004. Vol. 79. P. 727–747.
4. Ștefănescu R. et al. Pharmacognostic evaluation and antioxidant profiling of five *Ribes nigrum* varieties // *Plants*. 2021. Vol. 10. No. 2. P. 269.
5. Макарова Н. В. Изучение химического состава и антиоксидантных свойств черной смородины урожая 2014 г. из коллекции ГБУ СО НИИ «Жигулевские сады» // *Научные ведомости БелГУ. Серия Естественные науки*. 2015. № 7(210). С. 145–148. [Makarova N. V. The study of the chemical composition and antioxidant properties of black currant crop in 2014 from the collection of scientific-research institute “Zhigulevskie Sady” // *Nauchnye Vedomosti BelGU. Natural Sciences Series*. 2015. No. 7(210). P. 145–148].
6. Адзиахметова С. Л., Червоная Н. М., Шляпникова А. В. Изучение суммарного содержания антиоксидантов и элементного состава листьев смородины черной (*Ribes nigrum* L.) // *Химия растительного сырья*. 2021. № 3. С. 125–130. [Adziakhmetova S. L., Chervonnaya N. M., Pozdnyakov D. I., Oganessian E. T. Study of the total content of antioxidants, polysaccharides, element composition and amino acids of vegetable raw material of *Ribes nigrum* L. // *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja*. 2021. No. 3. P. 125–130].
7. Головина Л. А., Ишмуратова М. М. Генетические ресурсы *Ribes nigrum* L. *In situ* и *ex situ* в Республике Башкортостан // *Известия Уфимского научного центра РАН*. 2024. №4. С. 78–83. [Golovina L. A., Ishmuratova M. M. Genetic resources of *Ribes nigrum* L. *in situ* and *ex situ* in the Republic of Bashkortostan // *Izvestia Ufimskogo Nauchnogo Tsentra RAN*. 2024. No. 4. P. 78–83]. DOI: 10.31040/2222–8349-2024-0-4-78-83.
8. Гарифуллина Г. Г., Насретдинова Р. Н., Ишмуратова М. М., Головина Л. А. Антиоксидантная активность спиртовых экстрактов почек смородины черной (*Ribes nigrum* L.) сортов башкирской селекции // *Вестник Башкирского университета*. 2025. Т. 30. № 1. С. 51–55. [Garifullina G. G., Nasretdinova R. N., Ismuratova M. M., Golovina L. A. Antioxidant activity of alcoholic extracts of black currant buds (*Ribes nigrum* L.) of Bashkir varieties // *Vestnik Bashkirskogo Universiteta*. 2025. Vol. 30. No. 1. P. 51–55].
9. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). М.: «Росинформгротех», 2024. 631 с. [State Register of Breeding Achievements Approved for Use. Vol. 1. “Plant Varieties” (official publication). Moscow, Rosinformagrotekh, 2024. 631 p.].
10. Bilici M. The effect of currant (*Ribes*) on human health and determination certain antioxidant activities // *Eastern Journal of Medicine* Vol. 26. No. 3. P. 470–474.
11. Orbán Cs. et al. Antioxidant capacity of blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) leaves and buds // *Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria*. 2021. Vol. 14. No. 1. P. 117–129. URL: <https://doi.org/10.2478/ausal-2021-0007>
12. Гарифуллина Г. Г., Сахаутдинов Г. Ф., Маликова Р. Н. и др. Антиокислительная активность некоторых терпеноидов в модельной реакции окисления этилбензола // *Вестник Башкирского университета*. 2019. Т. 24. №4. С. 835–841. [Garifullina G. G., Sakhautdinova G. F., Malikova R. N., et al. Antioxidant activity of some terpenoids in the model reaction of ethylbenzene oxidation // *Vestnik Bashkirskogo Universiteta*. 2019. Vol. 24. No. 4. P. 835–841].
13. Попова Т. С. Фармакогностическое изучение и стандартизация почек и листьев смородины черной (*Ribes.nigrum* L.): автореф. дисс. ... канд. фарм. наук: специальность 14.04.02. Фармацевтическая химия, фармакогнозия. М., 2017. 24 с. [Popova T. S. Pharmacognostic study and standardization of black currant buds and leaves (*Ribes.nigrum* L.): Abstract of Cand. of Pharmaceutical Sciences theses: specialty 14.04.02. Pharmaceutical Chemistry, Pharmacognosy. Moscow, 2017. 24 p.].

Поступила в редакцию 01.10.2025 г.

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2026.1.9

**INFLUENCE OF BLACK CURRANT (*RIBES NIGRUM* L.) JUICE  
OF BASHKIR-BRED VARIETIES ON THE ETHANOL OXIDATION PROCESS**

© R. N. Nasretdinova<sup>1</sup>, G. G. Garifullina<sup>1\*</sup>, M. M. Ishmuratova<sup>1</sup>,  
L. A. Golovina<sup>1,2</sup>, A. R. Ishbirdin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Ufa University of Science and Technology  
32 Zaki Validi, 450076 Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.*

<sup>2</sup>*Bashkir Research Institute of Agriculture  
Branch of Ufa Federal Research Center of RAS  
19 Zorge st., 450059 Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.*

\*Email: Garifa@inbox.ru

The effect of black currant (*Ribes nigrum* L.) juice from varieties of the Bashkir selection (Belskaya, Bobrovaya, Valovaya, Karaidel, Estafeta, Chishma, Kushnarenkovskaya, Iremel, Truzhenitsa) on the process of radical-chain oxidation of ethanol was studied. The ability of *R. nigrum* juice to reduce the rate of the oxidation process was quantified by the value of the relative decrease in the rate of alcohol oxidation. The dependence of the antioxidant activity (AOA) of *R. nigrum* juice on the variety of fruit and the volume fraction of juice in the reaction medium has been established. The maximum effect was observed in the Estafeta variety (up to 62.8%). The method showed high sensitivity and applicability for assessing the total AOA. The freezing and thawing process of berries affects the inhibitory activity of berry juice.

**Keywords:** antioxidant activity of *R. nigrum* juice, Bashkir-bred varieties, oxygen uptake rate, oxidation inhibitors.

*Received 01.10.2025.*

**Об авторах / About the authors****НАСРЕТДИНОВА Римма Наилевна**

кандидат химических наук, доцент,  
доц. кафедры физической химии и химической экологии,  
Института химии и защиты в чрезвычайных ситуациях,  
Уфимский университет науки и технологий.  
Email: nasretdinovarn@mail.ru

**ГАРИФУЛЛИНА Гарифа Губайдулловна**

кандидат химических наук, доцент,  
доц. кафедры физической химии и химической экологии,  
Института химии и защиты в чрезвычайных ситуациях,  
Уфимский университет науки и технологий.  
Email: Garifa@inbox.ru

**ИШМУРАТОВА Майя Мунировна**

доктор биологических наук, профессор,  
профессор кафедры биологии и экологии,  
Института природы и человека,  
Уфимский университет науки и технологий.  
Email: ishmuratova@mail.ru

**ГОЛОВИНА Людмила Андреевна**

научный сотрудник Кушнаренковского селекционного  
центра по плодово-ягодным культурам и винограду,  
Башкирский НИИСХ – обособленное структурное подраз-  
деление УФИЦ РАН.  
Email: ludmilab\_2010@mail.ru

**ИШБИРДИН Айрат Римович**

доктор биологических наук, профессор,  
профессор кафедры биологии и экологии  
Института природы и человека,  
Уфимский университет науки и технологий.  
Email: ishbirdin@mail.ru

**NASRETDINOVA Rimma Nailevna**

Candidate of Chemical Sciences, Docent,  
Associate Professor of the Department of Physical Chemistry  
and Chemical Ecology,  
Institute of Chemistry and Protection in Emergency Situations,  
Ufa University of Science and Technology.  
Email: nasretdinovarn@mail.ru

**GARIFULLINA Garifa Gubaidullova**

Candidate of Chemical Sciences, Docent,  
Associate Professor of the Department of Physical Chemistry  
and Chemical Ecology,  
Institute of Chemistry and Protection in Emergency Situations,  
Ufa University of Science and Technology.  
Email: Garifa@inbox.ru

**ISHMURATOVA Maiya Munirovna**

Doctor of Biological Sciences, Professor,  
Professor of the Department of Biology and Ecology,  
Institute of Nature and Human,  
Ufa University of Science and Technology.  
Email: ishmuratova@mail.ru

**GOLOVINA Lyudmila Andreevna**

Researcher of Kushnarenkovo Breeding Center for Fruit  
and Berry Crops and Grapes  
Bashkir Research Institute of Agriculture –  
branch of Ufa Federal Research Center of RAS.  
Email: ludmilab\_2010@mail.ru

**ISHBIRDIN Ayrat Rimovich**

Doctor of Biological Sciences, Professor,  
Professor of the Department of Biology and Ecology,  
Institute of Nature and Human,  
Ufa University of Science and Technology.  
Email: ishbirdin@mail.ru