



УДК 582.734.3:581.145.21+581.192.2+574.3(235.221)(574)

## Биоморфологические особенности природных форм *Malus sieversii* ценопопуляций Джунгарского Алатау (Республика Казахстан)

Л. Ш. Шадманова<sup>1,4\*</sup>, М. Г. Куцев<sup>2,3</sup>, Г. Т. Ситпаева<sup>1,5</sup>, Г. С. Мукан<sup>1,6</sup>

<sup>1</sup> Институт ботаники и фитоинтродукции, ул. Тимирязева, д. 36д, г. Алматы, 050040, Казахстан

<sup>2</sup> Алтайский государственный университет, пр. Ленина, д. 61, г. Барнаул, 656049, Россия.  
E-mail: m\_kucev@mail.ru; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2284-6851>

<sup>3</sup> Сибирский федеральный университет, пр. Свободный, д. 79, г. Красноярск, 660041, Россия

<sup>4</sup> E-mail: laura\_shadmanova@mail.ru; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8395-1634>

<sup>5</sup> E-mail: sitpaeva@mail.ru; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4614-6155>

<sup>6</sup> E-mail: appleforest\_protection@mail.ru; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4721-882X>

\* Автор для переписки

**Ключевые слова:** морфология плодов, лейкоантоцианы, Р-активные вещества, ценопопуляции, яблоня Сиверса.

**Аннотация.** Происхождение современных сортов яблок (*Malus × domestica*) на протяжении тысячелетий имеет генетическую связь с *Malus sieversii* (Ledeb.) M. Roem., которая произрастает в умеренных лесах Центральной Азии. Исследование количественного содержания полифенолов в *Malus sieversii* является актуальным вопросом селекции ввиду большего их содержания у яблонь с красными плодами. В данном исследовании приводятся основные помологические характеристики плодов *Malus sieversii* из ценопопуляций Джунгарского Алатау Республики Казахстан, проанализировано содержание лейкоантоцианов и Р-активных веществ в плодах. Содержание лейкоантоцианов в плодах составило от 180 до 1325 мг/100 г, Р-активных веществ – от 380 до 1770 мг/100 г. Наибольшая концентрация лейкоантоцианов и Р-активных веществ в плодах характерна для ценопопуляций *Malus sieversii* из ущелья Мушабай. В ходе кластерного анализа содержания флавоноидов выявлена географическая детерминированность данной величины и высокая корреляция ее со средней массой плодов. Наибольшим потенциалом по морфологическим, органолептическим и биохимическим признакам для дальнейшей селекции обладают формы *Malus sieversii* из ущелья Мушабай Джунгарского Алатау.

## Biomorphological characteristics of natural forms of *Malus sieversii* in cenopopulations of the Dzungarian Alatau (Republic of Kazakhstan)

L. Sh. Shadmanova<sup>1</sup>, M. G. Kutsev<sup>2,3</sup>, G. T. Sitpayeva<sup>1</sup>, G. S. Mukan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Botany and Phytointroduction, Timiryazeva St. 36d, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan

<sup>2</sup> Altai State University, Lenina Pr., 61, Barnaul, 656049, Russian Federation

<sup>3</sup> Siberian Federal University, Svobodny Pr., 79, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

**Keywords:** fruit morphology, leucoanthocyanins, P-active substances, coenopopulations, Sievers apple.

**Summary.** For thousands of years the origin of modern cultivars of apple (*Malus × domestica*) is genetically related to *Malus sieversii* (Ledeb.) M. Roem., which grows in temperate forests of Central Asia. The study of the quantitative

content of polyphenols in *Malus sieversii* is a pressing issue of the selection due to their higher content in red-fruit apple trees. This study presents the main pomological characteristics of *Malus sieversii* fruits from coenopopulation of the Dzungarian Alatau of the Republic of Kazakhstan and the analysis of leucoanthocyanin content and R-active substance in the fruits. The content of leucoanthocyanins in the fruits is from 180 to 1325 mg/100 g, R-active substances – from 380 to 1770 mg/100 g. The highest concentration of leucoanthocyanins and R-active substances in the fruits is indicated for cenopopulations of *Malus sieversii* from the Mushabai Gorge. During the cluster analysis of flavonoid content, the geographical determinacy of this value and its high correlation with the average weight of fruits were revealed. The *Malus sieversii* forms from the Mushabai Gorge in the Dzungarian Alatau have the greatest potential for morphological, organoleptic and biochemical characteristics for further selection.

### Введение

Одним из основных приоритетов Продовольственной и Сельскохозяйственной Организации Объединенных Наций (Radionov, 2013; Gosudarstvennaya programma., 2017; Li et al., 2019; Strategii i programmy RK, 2020) является обеспечение государств безопасными, доступными и высокого стандарта местными продовольственными товарами. На государственном уровне в Республике Казахстан принята отраслевая программа развития садоводства. Одной из наиболее широко культивируемых и экономически важных фруктовых культур в регионах с умеренным климатом является яблоня.

При производстве высококачественных яблок современная селекция все более и более становится зависимой от генетических ресурсов дикорастущих видов рода *Malus* Mill. Большой интерес представляет дикорастущая яблоня Казахстана – *Malus sieversii* (Ledeb.) M. Roem (яблоня Сиверса), эндемик гор Тянь-Шаня, Тарбагатая и Джунгарского Алатау, обладающая ценным генофондом (Forsline et al., 2003; Juniper, Mabblerley, 2006; Shadmanova et al., 2019).

Поскольку *M. sieversii* является высокополиморфным видом (Vavilov, 1965; Ponomarenko, 1982; Dzhangaliev, 2003), плоды многих форм, составляющих их природные популяции, различаются по биохимическим показателям. В зависимости от различных внешних факторов химический состав плодов меняется. Химический состав плодов свидетельствует о биохимических особенностях процесса метаболизма растений. Он дает точную информацию об экологических условиях произрастания и биологических особенностях яблонь.

Необходимость изучения химического состава форм яблонь Сиверса была связана не только с освоением природных ресурсов, но и с тем, что культурные сорта по химическому составу не всегда удовлетворяют требованиям промышленного производства. Так, в середине XX в.

наряду с экспедиционными и селекционно-генетическими исследованиями яблонь академик А. Д. Джангалиев (Dzhangaliev, 1976) проводил изучение биохимического состава плодов яблонь Сиверса. Исследования химического состава плодов дикой яблонь, собранные в Заилийском и Джунгарском Алатау, показали высокое содержание биоактивных веществ, витаминов и микроэлементов. По данным А. Д. Джангалиева (Dzhangaliev, 1969), количество витамина С у них почти в 2,5 раза, а Р-активных веществ в 7,7 раза выше, и больше содержание микроэлементов, чем у культурных сортов.

Многие исследования (Wolfe et al., 2003; Wojdylo, 2008; Mitic, 2013) также показывают, что плоды яблонь являются источником природных антиоксидантов, таких как витамины и фенолы.

Одним из активно изучаемых классов веществ плодов являются фенольные соединения. Обладая способностью к обратимому окислению, полифенолы и флавоноиды растений являются эффективными природными антиоксидантами (Halliwell, 1996; Yashin, 2009; Makarenko, Levitskii, 2013). Фенольные соединения обнаруженные в плодовых растениях, обладают рутин-витаминной (Р-активные вещества) активностью. Они не только повышают качественные показатели плодов, но и усиливают устойчивость растения к стресс-факторам, а растительные антиоксиданты оказывают положительное влияние на организм человека, снижая риск сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний (Renaud et al., 1998; Temple, 2000).

Р-активные вещества плодов состоят в основном из флавоноидов (катехины, антоцианы, лейкоантоцианы и др.) и в больших количествах накапливаются в плодах яблонь. Лейкоантоцианы участвуют в обменных процессах растений и являются не только запасными органическими веществами, но и участвуют в защите плодов от микроорганизмов, высоких и низких температур (Dmitriev, 2003; Gudkovskiy et al., 2005).

Однако избыточное накопление лейкоантоцианов в плодах придает им терпкий вкус, такие плоды не пригодны для употребления в свежем виде, но яблоки с терпким вкусом широко используются при производстве яблочного сидра. Также известно, что фенольные соединения улучшают цвет готового виноматериала (Skorikova, 1973). Имеются данные, подтверждающие предположения некоторых авторов о том, что характер освещения и спектральный состав света могут существенно влиять на состав флавоноидов и их производных, накапливаемых в растениях (Lavola, 1998; Ma et al., 2010). Также A. Lavola (1998) отмечает фотопротекторную роль фенольных соединений, защищающих ткани от неблагоприятного воздействия УФ-излучения.

На настоящее время практически нет данных об изучении биохимического состава плодов дикорастущей яблони, произрастающей в Казахстане. Среди дикорастущих плодово-ягодных растений казахстанскими исследователями

были изучены лишь антиоксидантные свойства *Berberis iliensis* Popov, *Berberis integerrima* Bunge и *Rosa iliensis* Chrshan (Romadanova et al., 2019; Özek, Childibayeva, 2022).

Между тем, одной из важнейших проблем Казахстана является обеспечение населения биологически ценными и безопасными продуктами питания в достаточном количестве. В связи с чем целью данной работы является изучение химического состава плодов *M. sieversii* джунгарской популяции в зависимости от условий произрастания.

### Материалы и методы

Нами были определены общее количество лейкоантоцианов (флаван-3,4-диолов) и Р-активных веществ в плодах *Malus sieversii*. Для анализа были использованы этанольные экстракты из плодов природных форм яблони Сиверса, собранных в ущельях (далее ущ.) Джунгарского Алатау в августе 2019 г. (табл. 1).

Таблица 1

Образцы *Malus sieversii*, использованные для анализа

№ ЦП	Формы яблони	Географическая привязка места сбора образцов и описание растительности	Географические координаты	Высота над ур. м., м
ЦП1	Ms14П	Ущ. Пихтовая Щель, Джунгарский Алатау, Республика Казахстан	45°24'13.3" с. ш. 80°23'46.6" в. д.	1139
ЦП1	Ms15П	Ущ. Пихтовая Щель, Джунгарский Алатау, Республика Казахстан	45°24'13.4" с. ш. 80°23'46.8" в. д.	1139
ЦП2	Ms16П	Ущ. Пихтовая Щель, Джунгарский Алатау, Республика Казахстан	45°24'13.4" с. ш. 80°23'46.9" в. д.	1140
ЦП1	Ms17П	Ущ. Пихтовая Щель, Джунгарский Алатау, Республика Казахстан	45°24'01.3" с. ш. 80°23'17.0" в. д.	1124
ЦП2	Ms18П	Ущ. Пихтовая Щель, Джунгарский Алатау, Республика Казахстан	45°24'15.2" с. ш. 80°23'45.6" в. д.	1139
ЦП3	Ms19М	Ущ. Мушабай, Джунгарский Алатау, Республика Казахстан	45°24'47.9" с. ш. 80°23'13.0" в. д.	1149
ЦП4	Ms20М	Ущ. Мушабай, Джунгарский Алатау, Республика Казахстан	45°24'52.7" с. ш. 80°23'15.7" в. д.	1140
ЦП3	Ms21М	Ущ. Мушабай, Джунгарский Алатау, Республика Казахстан	45°24'52.6" с. ш. 80°23'15.8" в. д.	1140
ЦП4	Ms22М	Ущ. Мушабай, Джунгарский Алатау, Республика Казахстан	45°23'49.1" с. ш. 80°23'14.6" в. д.	1145
ЦП3	Ms23М	Ущ. Мушабай, Джунгарский Алатау, Республика Казахстан	45°23'56.0" с. ш. 80°23'14.1" в. д.	1131
ЦП6	Ms24К	Ущ. Крутое, Джунгарский Алатау, Республика Казахстан	45°33'21.8" с. ш. 80°43'48.5" в. д.	1488
ЦП5	Ms25К	Ущ. Крутое, Джунгарский Алатау, Республика Казахстан	45°33'21.9" с. ш. 80°43'48.8" в. д.	1489
ЦП5	Ms26К	Ущ. Крутое, Джунгарский Алатау, Республика Казахстан	45°33'21.9" с. ш. 80°43'48.8" в. д.	1489

Таблица 1 (окончание)

№ ЦП	Формы яблони	Географическая привязка места сбора образцов и описание растительности	Географические координаты	Высота над ур. м., м
ЦП6	Ms27K	Ущ. Крутое, Джунгарский Алатау, Республика Казахстан	45°33'22.0" с. ш. 80°43'48.7" в. д.	1489
ЦП6	Ms28K	Ущ. Крутое, Джунгарский Алатау, Республика Казахстан	45°33'22.0" с. ш. 80°43'48.7" в. д.	1489

В ходе проведения геоботанических исследований ценопопуляций проведена оценка онтогенетической стадии деревьев яблони Сиверса в соответствии с общепринятой классификацией и методиками (Diagnozu i klyuchi, 1989; Evstigneev, Korotkov, 2016). Образцы плодов *M. sieversii* для анализа были собраны в пределах следующих ценопопуляций (далее ЦП).

#### Ущелье Пихтовая Щель Джунгарского Алатау (рис. 1А)

ЦП1. Сообщество представлено разреженным осиново-яблонево-кустарничковым лесом. Склон северо-западной экспозиции, крутизной 20°. В растительном покрове наблюдается трехярусное сложение: древостой, полукустарники и травы. Высота деревьев *Malus sieversii* достигает 15 м. Сомкнутость крон 0,2.

Возобновление в данной ценопопуляции отсутствует. Ценопопуляция представлена деревьями генеративного состояния (g1 – 0 %, g2 – 30,9 %, g3 – 61,9 %). Деревья в ЦП1 в субсенильном (ss) состоянии составляют 6,3 % и в сенильном состоянии (s) – 0,9 %.

ЦП2. Представляет осиново-яблонево-шиповниково-крапивное сообщество. Нижний склон северной экспозиции. Ценопопуляция находится в пойме ручья, обеспечивающего дополнительное увлажнение участка. В ценопопуляции отмечены молодые яблони прегенеративного периода. Так, особи im составили 1,5 %, а особи v – 1,6 %. Деревья же g2 и g3 генеративного периода составили 42,3 % и 44,1 % соответственно, а доля субсенильных и сенильных деревьев – 10,2 % и 0,3 % соответственно. Имеется незначительный молодой подрост на открытых участках или по краю насаждений. В травяном покрове преобладает *Urtica dioica* L., которая местами образует плотные заросли. Взрослые деревья увиты *Humulus lupulus* L.

#### Ущелье Мушабай Джунгарского Алатау (рис. 1Б)

ЦП3. Сообщество описано как яблоневое редколесье ежевично-разнотравно-злаковое.

Ценопопуляция приурочена к открытому и хорошо освещенному южному склону с крутизной 25°, расположена на вершине и по склону холма. Деревья размещены группами и диффузно. Сомкнутость крон от 0,1 до 0,5. Средний возраст яблонь 50 лет. Средний диаметр стволов яблонь 19 см. Характер размещения древостоя – трехярусный. Древесный ярус формируется яблонями высотой 5–6 м. Некоторые деревья увиты *Humulus lupulus*. В пределах данной ценопопуляции яблони прегенеративного периода составляют 69,7 % (im – 10,9 %; v – 58,8 %), из них почти 85 % относятся к особям вегетативного происхождения. Доля генеративных деревьев составляет 30,2 % от общего количества, из них 62,6 % – деревья молодого генеративного периода.

ЦП4. Растительный покров представлен яблоневым редколесьем среди разнотравно-луговой растительности. Находится на склоне южной экспозиции, крутизной 15°. Состояние яблонь удовлетворительное. Размещение диффузное. Средний диаметр стволов яблони 22 см. Яблоня располагается единично и небольшими рощами. Вероятны посадки лесхоза. Сомкнутость крон от 0,1 до 0,4. Средняя высота 8–10 м. Подрост яблони занимает 2 % от всей площади. Данная ценопопуляция – полночленная в относительно хорошем состоянии. Обновление осуществляется смешанным образом. В ценопопуляции im особи составляют 3,4 %, v особи – 10,3 %, доля деревьев генеративного периода составляют: g1 – 5,2 %, g2 – 58,6 %, g3 – 22,0 %, деревья постгенеративного периода встречаются меньше (ss – 0,5 %).

По возрастному составу данной ценопопуляции видно, что лесным хозяйством были проведены работы по восстановлению яблоневых лесов. Благоприятные условия для семенного и вегетативного возобновления в данной ценопопуляции сложились за счет низкого травяного яруса. Однако низкая встречаемость молодых особей яблони, появившихся из семян, возможно связана с негативным влиянием зарослей малины в сообществе.

**Ущелье Крутое Джунгарского Алатау** (рис. 1В)

ЦП5. Сообщество представлено как яблоневое-разнотравно-овсянническое. Находится на юго-западном склоне крутизной 15°. Средний возраст деревьев яблони 50 лет. Высота деревьев 6–8 м. Средний диаметр стволов – 110 см. Происхождение естественное, смешанного характера. В данной ценопопуляции яблони расположены рощами по 5–10 штук. Молодые яблони прегенеративного периода встречаются не часто и составляют 4,5 % от общего количества особей. Основу ценопопуляции составляют среднегенеративные деревья (g2 – 91,9 %). Хотя между рощами есть открытые участки с источником

света, высокий травостой может препятствовать возобновлению *M. sieversii*.

ЦП6. Сообщество: яблоневое редколесье с высокотравьем. Расположена на южном склоне крутизной 40–45°. Увлажнение атмосферное. Яблоня произрастает группами по 5–10 экз. Происхождение – естественное, смешанного характера. Сомкнутость крон древостоя 0,7. Размер проекции крон 3 × 5 м. Среднее расстояние между деревьями 2–4 м. Полнота древостоя 0,4. Средний возраст деревьев 50 лет. Высота деревьев 4–6 м. Средний диаметр стволов – 35 см. В онтогенетическом спектре ЦП 7 доминируют генеративные деревья (g1 – 5,5 %, g2 – 57,9 %, g3 – 25,0 %).



Рис. 1. Плоды природных форм *Malus sieversii*: А – ущелье Пихтовая Щель; Б – ущелье Мушабай; В – ущелье Крутое.

Р-активные вещества (Р-витамины) и лейкоантоцианы определяли на базе Института Ботаники и фитоинтродукции, Республика Казахстан, колориметрическим методом в модификации Л. И. Вигорова (Vigorov, 1964) с использованием бутилового спирта и ванилина. Измерения проведены на иммуноферментном анализаторе Multiscan Ascent (ThermoFisher Scientific Inc., США) в 96-луночных планшетах. В качестве препарата сравнения использовали (+) катехин (Sigma-Aldrich, США). Измерения для каждого образца проводили в восьми повторностях. Внешний вид, окраску, вкус, плодов определяли органолептически, массу – измерением с помощью аналитических весов с погрешностью 0,1 г (Sovremennye metody..., 2011) с рекомендациями А. Д. Джангалиева (не опубликовано).

Статистическую обработку полученных данных проводили в программе Microsoft Excel, а также в программе NTSYSpc (Applied Biostatistics Inc., ABD).

### Результаты и их обсуждение

По внешнему виду и массе плодов сорта яблонь делятся на 2 большие группы: яблоки размером от 41 до 110 г, приспособленные к распространению семян с помощью зверей, и мелкие плоды, семена которых разносятся птицами, – до 40 г (табл. 2). Анализ данных по разнообразию плодов джунгарских ценопопуляций *M. sieversii* показал, что средняя масса плодов яблонь из ущелья Мушабай составила 49,2 г, варьируя от 3,5 г до 85,1 г. 43,8 % плодов весили менее 40 г, 25,7 % – менее 70 г. 30,5 % исследованных яблок имели вес от 71 до 110 г. Масса плодов из ущелья Пихтовая Щель варьирует от 4,2 до 65,4 г, при среднем значении 23,2 г. Доля

яблок массой менее 40 г равна 19,0 %, менее 70 г – 60,2 %, плодов, более 71 г – 5,0 %. Плоды ценопопуляций *M. sieversii* из ущелья Крутое преимущественно очень мелкие (70,5 %) – от 15,0 до 25,1 г, средней массой 20,4 г. Процент мелких и средних яблок составляет 29,5 %. Тем не менее, плоды со средней (111–150 г, 12,1 %) и большой (> 151 г) массой были обнаружены только у яблонь ценопопуляций из ущелья Мушабай. Также в данных ценопопуляциях выявлено наибольшее количество яблок с кисло-сладким (38,9 %) и горько-сладким (22,2 %) вкусом, а в ценопопуляциях из ущелий Пихтовая Щель и Крутое преобладали плоды с кислым вкусом (56,6 и 67,7 % плодов соответственно). Окраска плодов во всех ценопопуляциях варьировала от зеленовато-желтой до красной с различными вариантами покровной окраски вплоть до ее отсутствия (но только в ценопопуляциях ущелий Пихтовая Щель и Крутое). Окраска плодов яблонь зависит от накопления антоцианов, ее интенсивность зависит от условий инсоляции, так как антоцианы являются защитными веществами, при этом наследование окраски имеет полигенный механизм (Wang et al., 2020). Морфология поверхности плода яблонь имеет большое селекционное значение. Предпочтительными являются плоды с гладкой поверхностью, менее предпочтительны плоды с ребристой поверхностью. Наименьшее количество плодов с сильной ребристостью обнаружено в ценопопуляциях ущелья Мушабай (13,0 %), наибольшее – ущелья Крутое (15,1 %). Таким образом, формы яблонь из ущелья Мушабай обладают наибольшим потенциалом для применения в селекции новых сортов, ввиду большего разнообразия помологических признаков.

Таблица 2

Характеристики плодов *Malus sieversii* по основным помологическим признакам

Описание плодов	Ущ. Пихтовая Щель, %	Ущ. Мушабай, %	Ущ. Крутое, %
<b>Плодов масса, г</b>			
Очень мелкие < 40 г	43,8	19,0	70,5
Мелкие 41...70 г	25,7	60,2	15,2
Ниже среднего 71...110 г	30,5	5,0	14,3
Средние 111...150 г	0	12,1	0
Крупные > 151 г	0	3,7	0
<b>Вкус плодов</b>			
Кислые	56,6	38,9	67,7
Кисло-сладкие	10,3	38,9	10,0
Горькие	18,6	0	10,8
Горько-сладкие	14,5	22,2	11,5

Таблица 2 (окончание)

Описание плодов	Ущ. Пихтовая Щель, %	Ущ. Мушабай, %	Ущ. Крутое, %
С терпкостью	35,0	15,0	50,0
<b>Основная покровная окраска</b>			
Зеленовато-желтые	28,6	10,5	58,2
Желтые	42,8	66,6	5,9
Зеленые	14,3	31,6	10,7
Светло-зеленые	0	11,2	22,2
Красные	0	0	3,0
<b>Покровная окраска</b>			
Малиновая	52,6	44,4	0
Красная	15,3	45,6	0
Бордовая	21,3	11,2	3,4
Без покровной окраски	10,8	0	87,7
Штрихами	50,2	70,2	8,9
<b>Поверхность плода</b>			
Гладкая	62,9	58,6	34,5
Слабо ребристая	24,1	30,3	32,4
Ребристая	0	0	18,0
Сильно ребристая	13,0	11,0	15,1

Количественное накопление лейкоантоцианов и Р-активных веществ в плодах яблони варьирует из года в год, однако его содержание является постоянным показателем в пределах популяции (Prichko, 2002). В настоящее время количество Р-активных веществ (Р-витаминов) в плодах сортов, прошедших испытание и допущенных к использованию для внесения в селекционный реестр, должен быть не менее 500–650 мг/100г для полукультурных сортов яблонь (Kompleksnaya programma., 2001).

Плоды природных форм яблонь показали достаточно высокое накопление лейкоантоцианов и высокую концентрацию Р-активных веществ (рис. 2).

В плодах яблонь из ущелья Пихтовая Щель количество лейкоантоцианов варьировало от 189 до 520 мг/100 г. Очень высокое количество Р-активных веществ 189 мг/100г при накоплении лейкоантоцианов до 720 мг/100г было выявлено в образце Ms15. Природные формы Ms14 (318 мг/100г) и Ms16 (312 мг/100г) показали средние результаты накопления данных веществ.

Плоды природных форм Ms17 и Ms18 отличались высоким содержанием лейкоантоцианов и Р-витаминов с показателями 519–580 мг/100 г; 520–660 мг/100 г соответственно.

В лидирующих позициях по количеству выявленных биологически активных веществ оказались плоды форм яблони, отобранных из ущелья

Мушабай, с содержанием лейкоантоцианов и Р-витаминов соответственно – Ms23 (913 и 1060 мг/100 г), Ms20 (1210 и 1770 мг/100 г), Ms21 (1325 и 1350 мг/100 г).

Столь высокие показатели фенолов в плодах не только свидетельствуют о том, что в плодах яблонь из ущелья Мушабай значительно накапливаются биологически активные вещества, но и показывают, что и условия для роста данных деревьев благоприятны.

В плодах из ущелья Крутое накопление лейкоантоцианов и Р-витаминов было ниже по сравнению с формами из других точек. Так, средний показатель лейкоантоцианов в количестве 180 мг/100 г и низкое содержание рутина (380 мг/100 г) было определено у формы Ms27. В плодах Ms24, Ms26, Ms28, Ms25 содержание лейкоантоцианов было средним от 211; 219; 222; 228 мг/100 г при содержании Р-активных веществ 710 мг/100 г; 630; 605; 620 мг/100 г соответственно. В результате проведенного анализа было выявлено варьирование лейкоантоцианов от 74 до 1325 мг/100 г.

Высокое содержание Р-активных веществ, повышающих качество дерева, было отмечено во всех плодах изученных природных форм. Полученные данные согласуются с выводами академика А. Д. Джангалиева (Dzhangaliev, 1977), всесторонне изучавшего *M. sieversii*, о том, что показатели состава плодов яблонь зависят от

внешних факторов таких, как срок созревания плодов, экологических условий места произрастания деревьев и других факторов.

Кофенетическая корреляция рассчитывалась методом ультраметрического расстояния с использованием модуля VARCOV в программе

NTSYSpc (Applied Biostatistics Inc., ABD). Дендрограмма реконструирована невзвешенной парной группировкой, использующей среднее арифметическое (UPGMA) в качестве алгоритма кластеризации (рис. 3).

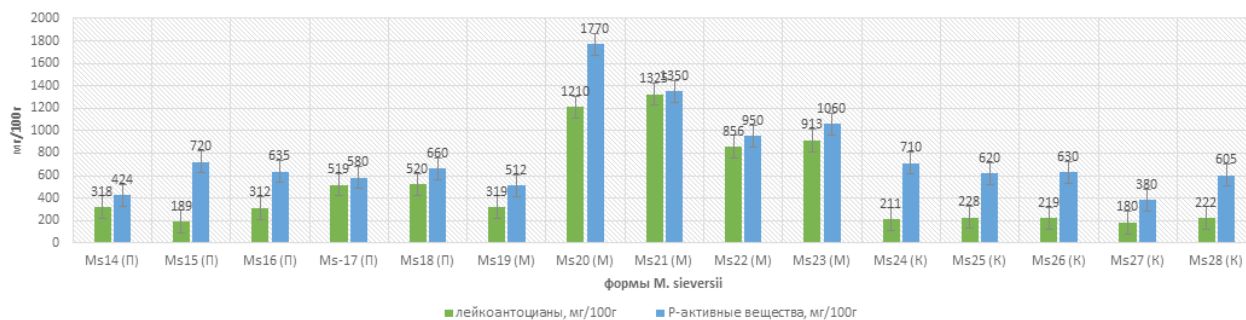


Рис. 2. Количественное содержание лейкоантоцианов и P-активных веществ в плодах природных форм *Malus sieversii* (Ledeb.) M. Roem.

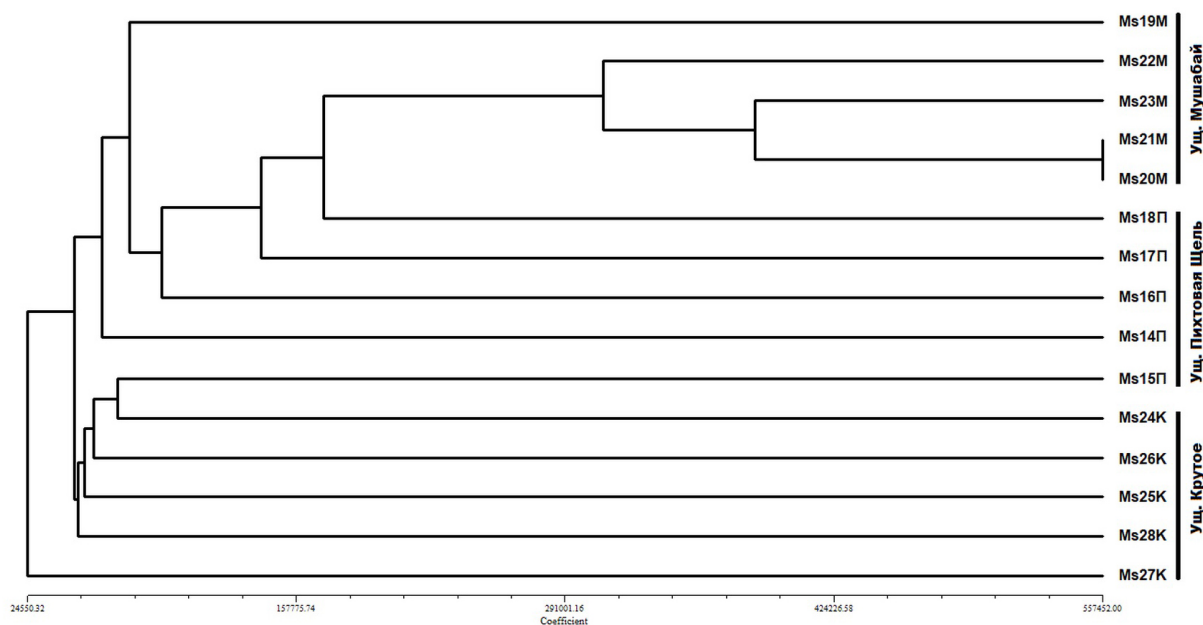


Рис. 3. Результаты кластеризации природных форм *Malus sieversii* (Ledeb.) M. Roem. на основе соотношения количественного содержания P-активных веществ и лейкоантоцианов.

На основе данных кластеризации выявлена группировка форм *Malus sieversii* по географическому принципу: практически все образцы объединены в клады с приуроченностью к конкретной географической точке за исключением форм Ms19M и Ms15П (что связано с погрешностью измерений). Также проведен корреляционный анализ содержания флавоноидов в плодах с высотой произрастания деревьев, выявленное значение коэффициента корреляции для лейкоантоцианов составило  $-0,55$  (средняя отрицательная корреляция) и для P-активных веществ

$-0,36$  (слабая отрицательная корреляция). Это противоречит ранее полученным результатам (Chalker-Scott, 2002), что накопление флавоноидов увеличивается с высотой над уровнем моря. Возможно, это связано с наличием других факторов, влияющих на накопление флавоноидов (условия увлажнения, инсоляция в течение сезона, минеральный состав почв). Сравнительный анализ морфологических признаков плодов и накопления биологически активных веществ показал очень высокую корреляцию среднего содержания лейкоантоциана (0,99) и P-активных



веществ (1,0) со средней массой плодов, что может быть в дальнейшем использовано как косвенный признак относительной величины накопления флавоноидов в разных популяциях. Когда растения находятся в стрессовой среде, накопление антоцианов может иметь защитную роль (Hoch et al., 2003). Результаты анализа лейкоантоцианов и Р-активных веществ соответствует преимущественной окраске плодов. Так, только в ценопопуляциях из ущелья Мушабай не выявлено плодов без покровной окраски, а содержание флавоноидов было максимальным.

Таким образом, сравнительный анализ содержания флавоноидов показывает, что географическое место произрастания деревьев является основным фактором, определяющим содержание в плодах *Malus sieversii* Р-активных веществ и лейкоантоцианов. Наибольшим потенциалом по морфологическим, органолептическим и биохимическим признакам для дальнейшей селекции обладают формы *Malus sieversii* из ущелья Мушабай Джунгарского (Жетысуского) Алатау.

#### REFERENCES / ЛИТЕРАТУРА

- Chalker-Scott L.** 2002. Do anthocyanins function as osmoregulators in leaf tissues? *Adv. Bot. Res.* 37: 103–106.
- Diagnozy i klyuchi vozrastnykh sostoyanij lesnykh rastenij. Derev'ya i kustarniki* [Diagnoses and keys of age conditions of forest plants. Trees and shrubs]. 1989. O. V. Smirnova (ed.). Moscow: "Prometey" Publ. 102 pp. [In Russian] (*Диагнозы и ключи возрастных состояний лесных растений. Деревья и кустарники*. Под ред. О. В. Смирновой. М.: Изд-во «Прометей», 1989. 102 с.).
- Dmitriev A. P.** 2003. Plant signaling molecules for activation of defense responses in response to biotic stress. *Fiziologiya rasteniy* [Russian Journal of Plant Physiology] 50(3): 465–474. [In Russian] (**Дмитриев А. П.** 2003. Сигнальные молекулы растений для активации защитных реакций в ответ на биотический стресс // Физиология растений, 2003. Т. 50, № 3. С. 465–474).
- Dzhangaliev A. D.** 1969. *Khimiko-tekhnologicheskaya kharakteristika dikikh yablok* [Chemical and technological characteristics of wild apples]. Alma-Ata: "Nauka". 59 pp. [In Russian] (**Джангалиев А. Д.** Химико-технологическая характеристика диких яблок. Алма-Ата: «Наука», 1969. 59 с.).
- Dzhangaliev A. D.** 1976. Protection and reproduction of the gene pool of fruit forests in Kazakhstan. *Byull. Glavn. bot. sada (Moscow)* [Bulletin of the Main Botanical Garden] 102: 107–111. [In Russian] (**Джангалиев А. Д.** Охрана и воспроизводство генофонда плодовых лесов Казахстана // Бюл. Глав. ботан. сада, 1976. Т. 102. С. 107–111).
- Dzhangaliev A. D.** 1977. *Dikaya yablonya Kazakhstana* [Wild apple tree of Kazakhstan]. Alma-Ata: "Nauka" KazSSR. 279 pp. [In Russian] (**Джангалиев А. Д.** Дикая яблоня Казахстана. Алма-Ата: «Наука» КазССР, 1977. 279 с.).
- Dzhangaliev A. D.** 2003. The wild apple tree of Kazakhstan. *Hortic. Rev. John Wiley & Sons, Inc.*: 63–303.
- Evstigneev O. I., Korotkov V. N.** 2016. Ontogenetic stages of trees: an overview. *Russian Journal of Ecosystem Ecology* 1, 2: 1–31. DOI: 10.21685/2500-0578-2016-2-1
- Forsline P. L., Aldwinckle H. S., Dickson E. E., Hokanson S. C.** 2003. Collection, maintenance, characterization, and utilization of wild apples from central Asia. *Hort. Rev.* 29: 1–61.
- Gosudarstvennaya programma razvitiya agropromyshlennogo kompleksa Respubliki Kazakhstan na 2017–2021 goda, utverzhennaya Priказом Prezidenta RK ot 14 fevralya 2017 goda, № 42* [State program for the development of the agro-industrial complex of the Republic of Kazakhstan for 2017–2021, approved by Order of the President of the Republic of Kazakhstan dated February 14, 2017, No. 420] [In Russian] (*Государственная программа развития агропромышленного комплекса Республики Казахстан на 2017–2021 годы, утв. Приказом Президента РК от 14 февраля 2017 года, № 420*. URL: [www.fao.org/reu/europe/documents/compnew/Kaz\\_PDF5](http://www.fao.org/reu/europe/documents/compnew/Kaz_PDF5)).
- Gudkovskiy V. A., Kashirskaya N. Y., Tsukanova E. M.** 2005. *Stress plodovykh rasteniy* [Fruit plant stress]. Voronezh: Kvarta. 128 pp. [In Russian] (**Гудковский В. А., Каширская Н. Я., Цуканова Е. М.** Стресс плодовых растений. Воронеж: Кварта, 2005. 128 с.).
- Halliwell B.** 1996. Antioxidants: The Basics-what they are and how to Evaluate them. *Advances in Pharmacology* 38: 3–20. DOI: 10.1016/S1054-3589(08)60976-X
- Hoch W. A., Singasaas E. L., McCown B. H.** 2003. Resorption protection. Anthocyanins facilitate nutrient recovery in autumn by shielding leaves from potentially damaging light levels. *Plant Physiol.* 133: 1296–1305. DOI: 10.1104/pp.103.027631
- Juniper B., Mabberley D. J.** 2006. *The story of the apple*. Portland: Timber Press. 511 pp.
- Kompleksnaya programma po selektsii semechkovykh kultur v Rossii na 2001–2020 gg.* [Comprehensive program for the selection of pome crops in Russia for 2001–2020]. 2001. Orel: VNIISPК. 31 pp. [In Russian] (*Комплексная программа по селекции семечковых культур в России на 2001–2020 гг.* Орел: ВНИИСПК, 2001. 31 с.).

**Lavola A.** 1998. Accumulation of flavonoids and related compounds in birch induced by UV-B irradiance. *Tree Physiology* 18: 53–58.

**Li Y., Mei B., Juvenal T. L.** 2019. The economic contribution of the world's forest sector. *Forest Policy and Economics* 100: 236–253. DOI: 10.1016/j.forpol.2019.01.004

**Ma Z., Li S., Zhang M., Jiang S., Xiao Y.** 2010. Light Intensity Affects Growth, Photosynthetic Capability, and Total Flavonoid Accumulation of Anoectochilus Plants. *Hort. Science horts.* 45(6): 863–867. DOI: 10.21273/HORTSCI.45.6.863

**Makarenko O. A., Levitskii A. P.** 2013. Physiological functions of flavonoids in plants. *Fiziologiya i biokhimiya kulturnykh rasteniy [Physiology and biochemistry of cultivated plants]* 45, 2: 100–112. [In Russian] (**Макаренко О. А., Левицкий А. П.** Физиологические функции флавоноидов в растениях // Физиология и биохимия культурных растений, 2013. Т. 45, № 2. С. 100–112).

**Mitic S. S., Stojanovic B. T., Stojkovic M., Mitic M.** 2013. Total phenolics, flavonoids and antioxidant activity of different apple cultivars. *Bulgarian Chemical Communications* 45: 326–31.

**Nikifirova S., Cavalieri D., Velasco R., Goremykin V.** 2013. Phylogenetic analysis of 47 chloroplast genomes clarifies the contribution of wild species to the domesticated apple maternal line. *Mol. Biol. Evol.* 30(8): 1751–1760.

**Özek G., Childibayeva A., Ametov A., Nurmahanova A., Özek T.** 2022. Chemical composition of flower volatiles and seed fatty acids of *Rosa iliensis* Chrshan, an endemic species from Kazakhstan. *Records of Natural Products* 16, 3: 225–235.

**Ponomarenko V. V.** 1982. Origin and distribution of apple tree culture – *Malus domestica* Borkh. *Byulleten VNIИ rasteniyevodstva [Byull. Vsesoyuzn. Ordena Lenina Inst. Rasteniev. N. I. Vavilova]* 126: 7–12. [In Russian] (**Пономоренко В. В.** Происхождение и распространение культуры яблони – *Malus domestica* Borkh. // Бюл. ВНИИ растениеводства, 1982. № 126. С. 7–12).

**Prichko T. G.** 2002. *Biokhimicheskiye i tekhnologicheskkiye aspekty khraneniya i pererabotki plodov yablони [Biochemical and technological aspects of storage and processing of apple fruits]*. Krasnodar: Prosveshcheniye-Yug. 172 pp. [In Russian] (**Причко Т. Г.** Биохимические и технологические аспекты хранения и переработки плодов яблони. Краснодар: Просвещение-Юг, 2002. 172 с.).

**Radionov A.** 2013. The states of forest genetic resources in the SEC region. In: *The Republic of Kazakhstan Country Report Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Ankara: FAO. P. 147.

**Renaud S. C., Guenguen R., Schenker J., d'Houtand A.** 1998. Alcohol and mortality in middle-aged men from Eastern France. *Epidemiology* 9: 184–188.

**Romadanova N. V., Eshbakova K. A., Karasholakova L. N., Machmutova I. A., Abidkulova K. T., Kushnarenko S. V.** 2019. Study of quality and quantitative composition of *Berberis iliensis* and *Berberis integerrima* fruits extracts, preservation of the genetic material in cryobank. *Bulletin of L. N. Gumilyov Eurasian National University. Bioscience Series* 2: 22–36. [In Russian] (**Ромаданова Н. В., Эшбакова К. А., Карашолакова Л. Н., Махмутова И. А., Абидкулова К. Т., Кушнаренко С. В.** Исследование качественного и количественного состава экстрактов мякоти плодов *Berberis iliensis* и *Berberis integerrima*, сохранение генетического материала в криобанке // Вестник Евразийского национального университета имени Л. Н. Гумилева. Серия Биологические науки, 2019. № 2. С. 22–36). DOI: 10.32523/2616-7034-2019-127-2-22-36

**Shadmanova L., Sitpayeva G., Mukanova G., Friesen N.** Molecular-genetic analysis of *Malus sieversii* – comparison of Dzungarian populations in situ and ex situ. *Turczaninowia* 22, 2: 187–198. DOI: 10.14258/turczaninowia.22.2.15

**Skorikova Y. G.** 1973. *Polifenoly plodov i yagod i formirovaniye tsveta produktov [Polyphenols of fruits and berries and the formation of color of products]*. Moscow: Pishchevaya promyshlennost. 230 pp. [In Russian] (**Скорикова Ю. Г.** Полифенолы плодов и ягод и формирование цвета продуктов. М.: «Пищевая промышленность», 1973. 230 с.).

*Strategii i programmy Respubliki Kazakhstan [Strategies and programs of the Republic of Kazakhstan]* [2020]. In: Strategiya “Kazakhstan-2050” [In Russian] (*Стратегии и программы Республики Казахстан // Стратегия «Казахстан-2050»*). URL: [https://www.akorda.kz/ru/official\\_documents/strategies\\_and\\_programs](https://www.akorda.kz/ru/official_documents/strategies_and_programs) (дата обращения: 06.06.2020).

*Sovremennyye metody i mezhdunarodnyy opyt sokhraneniya genofonda dikorastushchikh rasteniy (na primere dikikh plodovykh) [Modern methods and international experience in preserving the gene pool of wild plants (using the example of wild fruits)]*. 2011. Almaty: «Programma razvitiya OON v Kazahstane». 188 pp. [In Russian] (*Современные методы и международный опыт сохранения генофонда дикорастущих растений (на примере диких плодовых)*). Алматы: «Программа развития ООН в Казахстане», 2011. 188 с.).

**Temple N. J.** 2000. Antioxidants and disease: more questions than answers. *Nutr. Res.* 2: 449–459.

**Vavilov N. I.** 1965. Centers of origin of cultivated plants. In: *Izbrannyye trudy [Selected Works]*. Vol. 5. Moscow; Leningrad: “Nauka”. Pp. 9–176. [In Russian] (**Вавилов Н. И.** Центры происхождения культурных растений // Избранные труды. Т. 5. М.–Л.: «Наука», 1965. С. 9–176).

**Vigorov L. I.** 1964. Determination of different forms of catechins in fruits and berries. In: *Trudy II Vsesoyuznogo seminaru po biologicheski aktivnym (lechebnym) veshchestvam plodov i yagod [Proceedings of the II All-Union Seminar*

---

on biologically active (medicinal) substances of fruits and berries]. Sverdlovsk: “Sredne-Uralskoye knizhnoye izdatelstvo”. Pp. 310–322. [In Russian] (**Вузоров Л. И.** Определение различных форм катехинов в плодах и ягодах // Труды II Всесоюзного семинара по биологически активным (лечебным) веществам плодов и ягод. Свердловск: «Средне-Уральское книжное изд-во», 1964. С. 310–322).

**Wang W., Celton J. M., Buck-Sorlin G., Balzergue S., Bucher E., Laurens F.** 2020. Skin color in apple fruit (*Malus × domestica*): Genetic and epigenetic insights. *Epigenomes* 4(3): 13. DOI: 10.3390/epigenomes4030013

**Wojdyło A., Oszmiański J., Laskowski P.** Polyphenolic compounds and antioxidant activity of new and old apple varieties. *J. Agric. Food Chem.* 56(15): 6520–6530. DOI: 10.1021/jf800510j

**Wolfe K., Wu X., Liu R. H.** 2003. Antioxidant activity of apple peels. *J. Agric. Food Chem.* 51(3): 609–614. DOI: 10.1021/jf020782a. PMID: 12537430.

**Yashin Y. I.** 2009. *Prirodnyye antioksidanty. Soderzhaniye v pishchevykh produktakh i ikh vliyaniye na zdorovye i starenie cheloveka* [Natural antioxidants. Content in food products and their effect on human health and aging]. Moscow: Translit. 212 pp. [In Russian] (**Яшин Я. И.** Природные антиоксиданты. Содержание в пищевых продуктах и их влияние на здоровье и старение человека. М.: Транслит, 2009. 212 с.).