

УДК 634.11:631.52:004.67

## КЛАСТЕРИЗАЦИЯ СОРТОВ ЯБЛОНИ ПО КОМПОНЕНТАМ ЗИМОСТОЙКОСТИ

**Бутенко Анатолий Иванович**

доктор сельскохозяйственных наук, профессор

[but\\_tolik@mail.ru](mailto:but_tolik@mail.ru)

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

**Юшков Андрей Николаевич**

доктор сельскохозяйственных наук, заведующий центром

[cglm@rambler.ru](mailto:cglm@rambler.ru)

ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина»

г. Мичуринск, Россия

**Земисов Александр Сергеевич**

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

[cglm@rambler.ru](mailto:cglm@rambler.ru)

ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина»

г. Мичуринск, Россия

**Аннотация:** с использованием методов многомерного статистического анализа и искусственного промораживания побегов проведена иерархическая кластеризация 100 изученных сортов и форм яблони по зимостойкости. Выделены генотипы, наиболее устойчивые по всем четырем компонентам, входящие в первый кластер, как по каждому компоненту, так и по их комплексу.

**Ключевые слова:** яблоня, селекция, сорта, компоненты зимостойкости, кластерный анализ.

## **Введение**

Одним из главных факторов, определяющих продуктивность и долговечность плодовых насаждений, является их способность переносить неблагоприятные воздействия во время перезимовки. Метод оценки зимостойкости растений, базирующийся на моделировании воздействия повреждающих факторов зимнего периода широко и успешно используется в селекционной практике для изучения устойчивости яблони [4-6, 8-14]. Согласно этой методике [1, 7, 15] при оценке зимостойкости генотипа проводится учет повреждений побегов и почек по четырем компонентам зимостойкости после промораживания при «пороговых» температурах. Для каждой изученной формы фиксируются данные по большому количеству показателей, коррелирующих с зимостойкостью. При этом итоговое ранжирование форм по устойчивости может вызывать затруднения. В этой связи целью наших исследований являлась разработка методических подходов для ранжирования генотипов яблони после искусственного промораживания по четырем компонентам зимостойкости с использованием методов кластерного анализа.

## **Материалы и методы**

Искусственное промораживание побегов в зимний период осуществляли согласно методическим рекомендациям, разработанным М.М. Тюриной с сотрудниками [7] в климатических камерах СМ-60/100-250 ТХ и СМ-30/100-250 ТВХ. В работе использовали данные по промораживанию однолетних побегов 100 сортов и форм яблони по четырем компонентам зимостойкости. Учитывались два признака – степень повреждения древесины и почек. Моделирование неблагоприятного воздействия по I компоненту зимостойкости (устойчивости к низким температурам в осенне-зимний период) проводили путем промораживания однолетних ветвей в начале декабря при температуре  $-35^{\circ}\text{C}$  после стандартной закалки ( $-5, -10^{\circ}\text{C}$ ).

Устойчивость к низким температурам в середине зимы (II компонент зимостойкости) определяли после промораживания побегов при температуре  $-41\dots -42^{\circ}\text{C}$ .

Устойчивость к резким перепадам температуры после оттепели (III компонент зимостойкости) изучали в конце февраля после моделирования пятидневной оттепели в  $+3^{\circ}\text{C}$  и последующего промораживания при  $-28^{\circ}\text{C}$ .

Степень устойчивости исходных форм яблони по IV компоненту зимостойкости (способности восстанавливать морозостойкость при повторной закалке после оттепели) проводили, промораживая побеги при  $-37^{\circ}\text{C}$ , после пятидневной оттепели в  $+3^{\circ}\text{C}$  и повторной закалки.

Кластерный анализ проводили с помощью пакета STATISTICA 6 [2]. В этом методе при формировании кластеров используется мера несходства или расстояния между объектами. В пакете предусмотрено несколько видов расстояния (несходства) между объектами (в нашем случае сортами), мы использовали евклидово расстояние. При иерархической кластеризации происходит последовательное объединение меньших кластеров в большие или разделение больших кластеров на меньшие.

Мы использовали иерархические агломеративные методы, которые характеризуется последовательным объединением исходных элементов и соответствующим уменьшением числа кластеров. В начале работы такого алгоритма, когда каждый объект представляет собой отдельный кластер, расстояния между объектами определяются выбранной мерой. Однако когда связываются вместе несколько объектов, возникает вопрос, как следует определить расстояния между кластерами? Другими словами, необходимо правило объединения или связи для двух кластеров. В пакете есть несколько методов объединения кластеров. На наших данных мы сравнили все меры определения расстояния и все методы объединения кластеров в STATISTICA 6. Кластеры, полученные разными методами, не очень сильно различаются. Наиболее четкое разделение образцов получили при использовании евклидова расстояния с объединением кластеров по методу Варда.

В методе Варда применяют внутригрупповую сумму квадратов отклонений, которая есть не что иное, как сумма квадратов расстояний между каждой точкой (объектом) и средней по кластеру, содержащему этот объект. На каждом шаге объединяются такие два кластера, которые приводят к минимальному увеличению этой целевой функции, т.е. внутригрупповой суммы квадратов. Этот метод направлен на объединение близко расположенных кластеров.

### Результаты и обсуждение

Кластерный анализ проводили как по каждому компоненту зимостойкости, так и по всем четырем компонентам. Во всех случаях было выделено по три кластера. Состав кластеров по компонентам менялся. Некоторые сорта находились в разных кластерах у разных компонент.

На рисунке 1 представлена дендрограмма разбиения на кластеры по всем четырем компонентам зимостойкости. Из-за большого количества

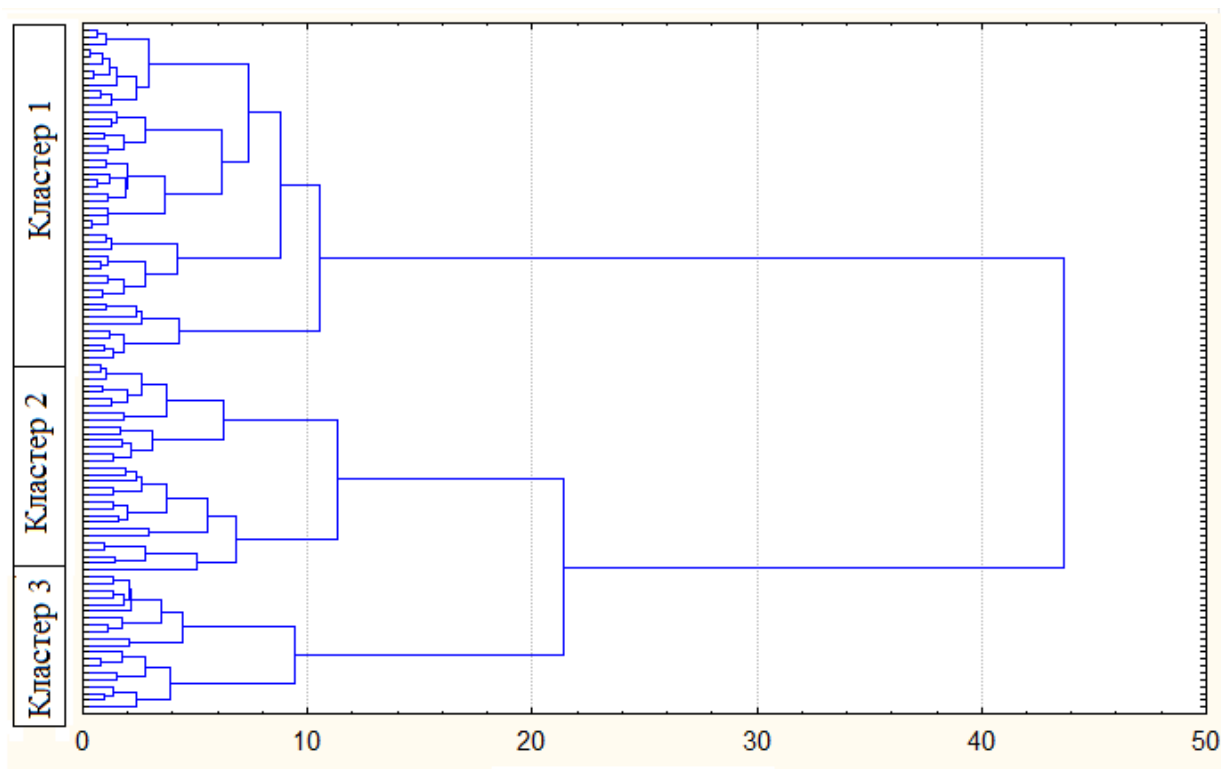


Рисунок 1 - Дендрограмма, полученная по данным для всех четырех компонентов зимостойкости

сортов их названия слева сливаются в сплошную полосу, и для расшифровки состава кластеров приходилось увеличивать дендрограмму в отдельных местах.

Получили следующие результаты. В данных с четырьмя компонентами зимостойкости в первый кластер вошли:

- сорта Алёнушка, Алтайское нарядное, Алтайское пурпуровое, Алые паруса, Благовест, Былина, Кандиль новый, Квинти, Керр, Коричное полосатое, Летнее алое, Десертное Будаговского, Летнее иммунное, Мартовское, Меканис, Мирон сахарный, Мичуринская красавица, Налив розовый, Орлик, Орловский пионер, Орловское полосатое, Приземлённое, Сахарный аркад, Свежесть, Серебряное копытце, Синап орловский, Скала, Слонёнок, Суйслейпское, Сюрприз Алтая, Тамбовское, Успенское, Чудное, Якутская;

- колонновидные формы селекции ВСТИСП и ФНЦ им. И. В. Мичурина KB-2, KB-5 (Джин), 10-14, 10-16, 10-18 из семьи (Бессемянка мичуринская x Мекинтош «Важак»), 8-2, 8-9, 8-11, 8-34 (Антоновка обыкновенная x Мекинтош «Важак»);

- элитные сеянцы 15-50 (Ренет Черненко x Ренет ландсберга), 16-80 (Ренет Черненко x Мекинтош), 25-10 (Прима x Бессемянка мичуринская), 25-97 (Анис алый x Прима), 26-39а (Ренет Черненко x Уэлси), 27-50 (Богатырь x 24-6).

Во второй кластер вошли следующие генотипы:

- сорта Бакстер, Имрус, Ковровое, Коллективное, Либерти, Орловим, Первянка, Победа Черненко, Соколовское, Стрела, Чародейка, Черное дерево;

- доноры иммунитета к парше NHOS 16/63, 1924;

- элитные и отборные формы 10-7, 10-35 (Бессемянка мичуринская x Мекинтош «Важак»), 11-6-2, 33-57, 12-63(12), 12-70-146 (производные Вжака), 13-28(III) (Ренет Черненко x Важак), 17-30 (Бабушкино x Коричное полосатое), 27-51, 27-52 (Богатырь x 24-6), 64-88 (30) (Красуля x Мекинтош

«Важак»), 78-88 (3) (Антоновка краснобочка х SR0523), 37-29 (Антоновка обыкновенная х Корнелл Мекинтош), 8-12 (Антоновка обыкновенная х Мекинтош «Важак»), 82-18а (Пепин шафранный х Велспур), 9-11, 9-26 (Красуля х КВ-5).

В третий кластер вошли:

- сорта Братчуд, Вишневое, Летнее спуровое, Протон, Строевское, Юбилей Москвы;

- формы КВ-13, 10-4, 10-32к (Бессемянка мичуринская х Мекинтош «Важак»), 12-31 (Уэлси х Приам), 12-63(1) (производная Важака), 140-28 (Коричное полосатое х Анис пурпуровый), 18-11 (24-2 х КВ 13), 20-36а (Коричное полосатое х Бабушкино), 23-41(Антоновка обыкновенная х КВМ), 29-7а (Богатырь х Жигулевское), 3-19 (Красуля х Мекинтош «Важак»), 37-17 (Мелба х Приам), 81-78а (Лаутош х Ренет Черненко), 8-31 (Антоновка обыкновенная х Мекинтош «Важак»).

Чтобы понять с какими признаками группируются сорта в кластеры, мы нашли среднее значение каждого признака по сортам каждого кластера (таблица 1). Получилось, что в первый кластер по каждой компоненте зимостойкости группируются сорта с меньшими значениями признаков, т.е. наиболее устойчивые. Значения признака «степень подмерзания древесины» во втором кластере ниже, чем в третьем, а значения признака «степень подмерзания почек» изменяются неодинаково по разным компонентам. По первому и третьему компонентам значения этого признака во втором кластере ниже, чем в третьем, в других компонентах наблюдается противоположная картина – в третьем кластере значения меньше, чем во втором.

Средние по кластерам значения признаков

| Компонент зимостойкости | Кластер 1 |       | Кластер 2 |       | Кластер 3 |       |
|-------------------------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
|                         | Древесина | Почки | Древесина | Почки | Древесина | Почки |
| I                       | 0,488     | 0,927 | 1,224     | 1,500 | 1,799     | 2,357 |
| II                      | 1,293     | 1,293 | 1,491     | 1,314 | 2,566     | 1,442 |
| III                     | 0,183     | 1,020 | 0,448     | 2,085 | 0,927     | 3,550 |
| IV                      | 0,780     | 0,442 | 1,125     | 2,077 | 2,827     | 1,136 |
| Все четыре              | 0,705     | 0,901 | 1,390     | 1,915 | 1,587     | 1,260 |

Выделены сорта, которые, как по каждому компоненту, так и по их комплексу стабильно входят в первый кластер: Алёнушка, Алтайское нарядное, Кандиль новый, Коричное полосатое, Летнее алое, Мирон сахарный, Налив розовый, Сахарный аркад, Свежесть, Серебряное копытце, Синап орловский, Скала, Успенское, Чудное, 8-11(Антоновка обыкновенная х Мекинтош «Важак»). Таким образом, эти генотипы оказались наиболее устойчивы по всем четырем компонентам. Следует отметить, что полученные данные согласуются с результатами, полученными ранее в полевых и лабораторных условиях [3, 12].

### Список литературы:

1. Бобрович Л.В. Новые оценочные показатели в исследованиях с плодовыми культурами / Л.В. Бобрович, Н.В. Андреева // Наука и Образование.- 2020. - Т. 3. - № 2. - С. 328.
2. Боровиков В.П. Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA. Учебное пособие для вузов / В.П. Боровиков. - М.: Горячая линия - Телеком, 2013. - 288 с.
3. Генетический потенциал устойчивости плодовых культур к абиотическим стрессорам / Н. И. Савельев, А. Н. Юшков, Н. Н. Савельева, А. С. Земисов, В. В. Чивилев, Р. Е. Кириллов, М. Ю. Акимов, М. Б. Гладышева, Ал. В. Кружков, А. А. Конюхова, Р. А. Чмир, Р. Е. Богданов, Ан. В. Кружков. – Мичуринск-наукоград РФ, 2010. – 212 с.

4. Дубровский М.Л. Анализ кариотипа российских клоновых подвоев яблони селекции Мичуринского государственного аграрного университета / М.Л. Дубровский, Р.В. Папихин // Amazonia Investiga. - 2019. -Т. 8. - № 21. - С. 688 – 698.

5. Козловская З.А. Селекция яблони в Беларуси / З.А. Козловская. – Минск: Беларуская навука, 2015. – 457 с.

6. Концепция научных исследований «Садоводство будущего» / Ю.В. Трунов, А.А. Завражнов, И.М. Куликов, А.И. Завражнов // Плодородие. - 2019. - № 1 (106). - С. 51-55.

7. Определение устойчивости плодовых и ягодных культур к стрессорам холодного времени года в полевых и контролируемых условиях / М. М. Тюрина, Г. А. Гоголева, Н. В. Ефимова, Л. К. Голоулина, Н. Г. Морозова, Й. Й. Эчеди, Ф. А. Волков, А. П. Арсентьев, Н. А. Матяш. – М., 2002. – 120 с.

8. Оценка устойчивости сорто-подвойных комбинаций яблони в промышленных садах / О.А. Борисова, З.Н.Тарова, Л.В. Бобрович, И.Н. Мацнев, А.В. Подмарков // Сб.: Почвы и их эффективное использование: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения доктора сельскохозяйственных наук, заслуженного деятеля науки Российской Федерации, профессора Владимира Владимировича Тюлина, 2018. - С. 224-228.

9. Оценка устойчивости сорто-подвойных комбинаций яблони в промышленных садах путем бонитировки на основе таксации / Л.В. Бобрович, З.Н. Тарова, А.В. Подмарков, О.А. Борисова // Сб.: Сборник научных трудов, посвященный 85-летию Мичуринского государственного аграрного университета. В 4-х томах. - Мичуринск, 2016. - С. 172-178.

10. Плодоношение яблони при нестабильных погодных условиях в садовых агроценозах старой руссы Новгородской области / З.Н. Тарова, О.А. Борисова, Л.В. Бобрович, К.С. Гречушкина // Сб.: Инновационные подходы к



разработке технологий производства, хранения и переработки продукции растениеводческого кластера: материалы Всероссийской научно-практической конференции. - Мичуринск, 2020. - С. 116-120.

11. Савельев Н. И. Генетические основы селекции яблони / Н. И. Савельев. – Мичуринск, 1998. – 304 с.

12. Савельева Н. Н. Биологические и генетические особенности яблони и селекция иммунных к парше и колонновидных сортов / Н.Н. Савельева. – Мичуринск, 2016. – 280 с.

13. Седов Е. Н. Селекция и новые сорта яблони / Е. Н. Седов. – Орел, 2011. – 624 с.

14. Трунов Ю.В. Некоторые особенности сортимента яблони для промышленных садов центрально-черноземной зоны России / Ю.В. Трунов, А.В. Соловьев, Е.М. Цуканова // Плодоводство и ягодоводство России. - 2017. - Т. 48. - № 1. - С. 268-271.

15. Тюрина М. М. Ускоренная оценка зимостойкости плодовых и ягодных растений / М. М. Тюрина, Г. А. Гоголева / Методические рекомендации. – М., 1978. – 38 с.

UDC 634.11:631.52:004.67

## CLUSTERIZATION OF APPLE VARIETIES BY COMPONENTS OF WINTER RESISTANCE

**Anatoly Ivanovich Butenko**

Doctor of Agricultural Sciences, Professor

[but\\_tolik@mail.ru](mailto:but_tolik@mail.ru)

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

**Andrey Nikolaevich Yushkov**

Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Center

[cglm@rambler.ru](mailto:cglm@rambler.ru)

FSSI «I.V. Michurin FSC»

Michurinsk, Russia

**Alexander Sergeevich Zemisov**

Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher

[cglm@rambler.ru](mailto:cglm@rambler.ru)

FSSI «I.V. Michurin FSC»

Michurinsk, Russia

**Annotation.** Using the methods of multivariate statistical analysis and artificial freezing of shoots, a hierarchical clustering of 100 studied apple varieties and forms according to winter resistance was carried out. The genotypes, the most stable for all four components included in the first cluster, were identified, both for each component and for their complex.

**Key words:** apple tree, selection, varieties, components of winter resistance, cluster analysis.