

# ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЯБЛОК И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО УЛУЧШЕНИЯ ПУТЕМ СЕЛЕКЦИИ

*Е.Н. СЕДОВ (фото),*

*доктор сельскохозяйственных наук, академик РАСХН,*

*М.А. МАКАРКИНА (фото),*

*кандидат сельскохозяйственных наук,*

*З.М. СЕРОВА,*

*кандидат сельскохозяйственных наук, ВНИИСПК, г. Орёл*

**Ключевые слова:** яблоня, сорта, плоды, селекция, растворимые сухие вещества, сахара, кислоты, витамины С и Р.

## Цель исследований

Проанализировать полученные во Всероссийском НИИ селекции плодовых культур (ВНИИСПК) за 50-летний период данные по биохимическому составу плодов яблони более 300 сортов 400 отборных форм 15 тыс. гибридных сеянцев, полученных от целенаправленных скрещиваний на улучшение химического состава плодов, а также всех районированных и лучших, проходящих государственное испытание, сортов РФ по данным многих научных и опытных учреждений России [1, 2].

## Методика

Изучение биохимического состава плодов проводилось в лаборатории биохимической оценки сортов ВНИИСПК. Содержание в плодах растворимых сухих веществ (РСВ) проводилось рефрактометрическим методом, определение сахаров – по методу Бертра-на, титруемых кислот (общей кислотности) – титрованием вытяжек 0,1 н раствором гидроокиси натрия, аскорбиновой кислоты – титрованием щавелевокислых вытяжек краской Тильманса (2,6-дихлорфенолидофенол), Р-активных веществ – колориметрическим методом в модификации Л.И. Вигорова

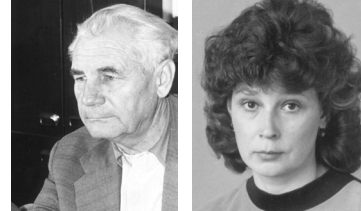
[3, 4]. Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась общепринятыми методами [5].

При анализе гибридного потомства яблони по биохимическому составу плодов в необходимых случаях рассчитывали степень доминантности и трансгрессии [6].

## Результаты

Многолетнее изучение биохимического состава плодов яблони у сортов и гибридных сеянцев позволило установить средние показатели каждого признака: содержание РСВ составило 13,2%, суммы сахаров – 10,5%, титруемых кислот – 0,69%, пектиновых веществ – 10,2%, аскорбиновой кислоты – 14,2 мг/100 г, Р-активных веществ – 303 мг/100 г, средний сахарокислотный коэффициент – 15,2.

Выявлен большой размах варьирования содержания химических веществ в плодах по сортам и отборным сеянцам: по содержанию РСВ – от 9,7 до 20,9%, суммы сахаров – от 7,0 до 16,4%, титруемых кислот – от 0,08 до 2,55%, аскорбиновой кислоты (витамина С) – от 1,4 до 57,9 мг/100 г, суммы Р-активных веществ – от 72 до 1460 мг/100 г. Сахарокислотный коэффициент изме-



нялся у разных сортов и отборных сеянцев от 6,1 до 156,3 [1].

Большое влияние на уровень содержания биохимического состава плодов оказывали зоны выращивания и погодные условия. Справедливо замечание А.А. Жученко [7] о том, что качество урожая в сильной степени зависит от капризов природы.

Ниже рассматриваются уровни и вариабельность основных признаков биохимического состава плодов яблони и возможности создания новых сортов с их оптимальным содержанием.

Как правило, сорта с повышенным содержанием РСВ в плодах характеризуются более высокой сахаристостью [8]. Это дает возможность селекционерам вести отбор на высокую сахаристость плодов по содержанию в них РСВ. В данной работе более подробный анализ сортового и гибридного материала представлен по содержанию сахаров в плодах.

**Сахара.** Углеводы (сахара) являются основным источником энергии и главным опорным материалом клеток, универсальным аккумулятором и донором энергии для всех химических реакций, происходящих в клетке. Сахара в сочетании с кислотами обуславливают вкус плодов. Большая часть из них представлена легкоусвояемыми формами моно-

**Apple tree, cultivars, fruit, breeding, soluble dry substances, sugar, acids, vitamins C and P.**

сахаров (глюкозой и фруктозой).

К настоящему времени выработаны требования к новым сортам яблоны, передаваемым на государственное испытание, по основным показателям биохимического состава плодов. Они рассмотрены и утверждены постановлением международной конференции [9]. По содержанию сахаров в плодах яблоны новых сортов разных регионов возделывания выработаны следующие требования: для сортов средней зоны России (Центральный и Поволжский регионы) – 12% сахаров, для южной зоны (Северо-Кавказский регион РФ) – 13%, для крупноплодных сортов Урала, Сибири и Дальнего Востока – 11% и для полукультур – 15-20%. К сожалению, эти требования пока оказались для селекционеров невыполнимыми. Среднее содержание сахаров в плодах 52 сортов яблоны, созданных во ВНИИСПК, было 10,2% с варьированием от 8,7% до 12,0%. С повышенным содержанием сахаров в плодах получены следующие сорта: Утренняя звезда (12,0%), Ивановское (11,8%), Старт и Олимпийское (10,9%), Орлик и Курнаковское (10,8%), Августа и Яблочный спас (10,7%). В плодах широко распространенных контрольных сортов (по многолетним данным) сахаров содержалось еще меньше: у Антоновки обыкновенной – 8,7%, у Северного синапа – 9,0%, Папиловки – 9,1%, Осеннего полосатого – 9,8% и Мелбы – 9,9%.

При селекции на сахаристость представляет интерес взаимосвязь суммы сахаров в плодах с другими биохимическими и хозяйственно-ценными признаками. Довольно тесная положительная связь выявлена у сортов яблоны генофонда института между суммой сахаров и РСВ в плодах ( $r=+0,74^{***}$ ). Отсутствует существенная связь между содержанием в плодах яблоны суммы сахаров и суммы Р-активных веществ ( $r=+0,17$  и  $+0,05$ ). Не выявлено связи между суммой сахаров в плодах и степенью поражения плодов и листьев пар-

шой. В связи с этим возможно создание сортов с высоким содержанием в плодах сахаров и Р-активных веществ, а также создание высокосахаристых сортов, устойчивых к парше плодов и листьев.

Хорошими источниками в селекции на повышенное содержание сахаров являются сорта Зимнее Плесецкого, Антоновка десертная, Память воину, Старкримсон, Ренет волжский, Помгриз. Эти сорта содержат в плодах от 12,1 до 14,0% сахаров [10].

Анализ гибридного материала показал, что из 34 сеянцев разного генетического происхождения у 18 сеянцев содержание сахаров в плодах превышало данный показатель у лучшего родителя, то есть проявлялась положительная трансгрессия, у 8 сеянцев – отрицательная трансгрессия и у 8 наблюдалось промежуточное наследование. 9 из 34 сеянцев содержали в плодах от 11,82 до 13,56% сахаров. Анализ данных по содержанию сахаров у 26 новых сортов яблоны селекции ВНИИСПК и их родителей выявил как положительные (рис. 1), так и отрицательные трансгрессии [11].

Из 264 элитных и отборных сеянцев, изученных по содержанию в плодах сахаров, у 39 (14,8%) отмечено их содержание от 7,0 до 9,0%, у 67 (25,4%) – от 9,1 до 10,0% сахаров, у 85 сеянцев (32,2%) – от 10,1 до 11,0% и у 73 сеянцев (27,6%) – от 11,1 до 14,0% сахаров.

Заслуживают внимания сеянец 11-21-113 (Уэли х Скрыжапель) с содержанием в плодах 13,6% сахаров, 22,4 мг/100 г аскорбиновой кислоты, 342 мг/100 г витамина Р, а также триплоидный элитный сеянец 20-67-8 (Мантет ранний х Папиловка тетраплоидная), плоды которого имеют массу 130 г и содержат 11,8% сахаров, 28,7 мг/100 г аскорбиновой кислоты и 423 мг/100 г витамина Р.

**Органические кислоты** придают плодам и ягодам специфический вкус и тем самым способствуют их лучшему усвоению, играют определенную роль в сохранении кислотно-основного рав-

новесия организма и вместе с сахарами определяют вкус плодов. Содержание кислот в плодах 837 изученных сортов и форм яблоны варьирует от 0,08 до 2,55%.

Низким содержанием титруемых кислот в плодах характеризуются сорта Делишес спур (0,20%), Старкримсон (0,22%), Делишес (0,25%), Бельфлер башкирский и Дочь Мекинтоша (0,26%), Бердское сладкое (0,28%), Болотовское (0,31%).

Самое большое количество титруемых кислот в плодах отмечено у сортов Слава Бурятии (1,60%), Янтарка алтайская (1,62%), Лалетино (1,69%), Веселовка (1,82%), Добрыня (2,30%), Долго (2,40%), Ранетка пурпуровая (2,55%).

Многолетнее изучение сортов селекции ВНИИСПК показало, что содержание кислот в плодах разных сортов варьировало от 0,35% (Низкорослое) до 1,10% (Гулливер).

Сравнение среднего содержания титруемых кислот в яблоках по гибридным семьям и родительским формам показало, что в 4 семьях из 13 изученных среднее содержание кислот в плодах не выходило за рамки содержания кислот у родительских сортов, наблюдалось промежуточное проявление признака: в одной семье – отрицательное доминирование, в 3 семьях – отрицательное сверхдоминирование, в 2 семьях – положительное доминирование и в 3 семьях – положительное сверхдоминирование (положительный гетерозис).

Вкусовые качества плодов яблоны во многом определяются отношением сахара к кислоте, то есть сахарокислотным индексом (СКИ). Установлено, что наибольшую гармоничность во вкусе имеют, как правило, плоды при СКИ 15-25. Сорта с СКИ, значительно превышающим 25, обычно малоперспективны. Они имеют пресный вкус, получают низкую дегустационную оценку при потреблении в свежем виде и мало пригодны для технической переработки.

Среди районированных и перспективных в России сортов наивысший СКИ отмечен для сортов южной зоны (21,4). В переходной зоне СКИ был равен 17,8 и в северной – 15,8.

Среди сортов яблоны с высоким вкусом плодов (4,4-4,6 балла) сахарокислотный коэффициент был у сорта Болотовское – 26,7; Орлик – 25,1; Рождественское – 17,4; Синап орловский – 17,7; Орловская заря – 16,3.

**Аскорбиновая кислота (АК, витамин С).** Основное физиологическое значение АК для живого организма заключается в ее участии в окислительно-восстановительных процессах. Организм человека не способен синтезировать АК и должен получать ее в готовом виде с пищей [12]. Недостаточность АК у человека проявляется в виде характерных симптомов, получивших название цинги или скорбута, и других нарушений нормальной жизне-

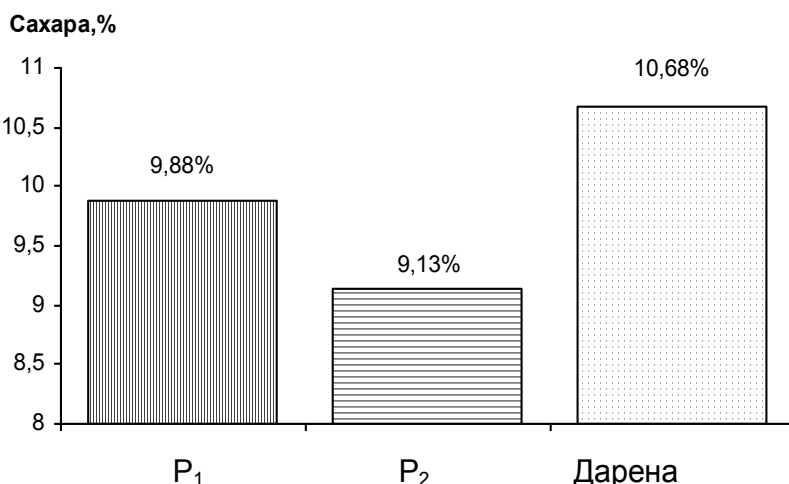


Рисунок 1. Степень трансгрессии по содержанию в плодах сахаров (%) у сорта Дарена (Мелба х Папиловка тетраплоидная) равна +8,1 (положительная); P<sub>1</sub> – материнская и P<sub>2</sub> – отцовская формы

деятельности.

Установлено, что АК больше накапливается в тканях наружного эпидермиса яблок. На ее накопление в плодах влияет зона выращивания (географическая изменчивость) и климатические условия вегетационного периода года. Если в плодах сортов южной зоны России (Северный Кавказ, Нижнее Поволжье) содержалось в среднем 10,6 мг/100 г АК, то в переходной зоне (Центральный, Центрально-Черноземный и Средневолжский регионы) – 12,6 мг/100 г, в Северной зоне (Северный, Северо-Западный, Волгоградский регионы) – 14,7 мг/100 г и в зоне Урала, Сибири и Дальнего Востока – 18,3 мг/100 г.

В селекции яблони на повышенное содержание АК в плодах наиболее перспективны целенаправленные сложные скрещивания с использованием предварительно отобранных гибридов по этому показателю.

Было установлено, что коэффициент наследуемости содержания АК в плодах гибридных семян яблони по отцовским сортам был средним ( $H^2=0,33$ ), по материнским формам и взаимодействиям и обоим родителям – сравнительно высоким (соответственно 0,77 и 0,55). Это свидетельствует о сильном влиянии родительских форм на разнообразие гибридного потомства по содержанию АК в плодах, а также о том, что подбор родительских форм по фенотипу возможен без анализа гибридного потомства [13].

Анализ данных по содержанию АК в плодах сортов яблони, включенных в Госреестр, и лучших, проходящих государственное испытание, показал, что особую ценность представляют высококовитаминные сорта Севера, Урала, Сибири и Дальнего Востока, а также отдельные сорта средней полосы России с содержанием АК в плодах более 29,0 мг/100 г: Алтайское крапчатое (29,9 мг/100 г), Сибирский сувенир (30,0 мг/100 г), Долго (30,8 мг/100 г), Аленушка (31,2 мг/100 г), Диво (31,5 мг/100 г), Веселовка (32,5 мг/100 г), Налив амурский (34,4 мг/100 г), Поливитаминное (37,0 мг/100 г), Ранетка Ермолаева (38,2 мг/100 г).

Среди 52 сортов яблони селекции ВНИИСПК повышенным содержанием АК в плодах отличались Ветеран (19,4 мг/100 г), Ивановское (19,5 мг/100 г), Вита (21,4 мг/100 г). В плодах широко распространенных контрольных сортов яблони АК содержалось значительно меньше: Осеннее полосатое – 9,0 мг/100 г, Северный синап – 13,9 мг/100 г и Антоновка обыкновенная – 14,5 мг/100 г.

Целенаправленная крупномасштабная селекция яблони на повышенное содержание АК в плодах ведется во ВНИИСПК с 1970 года. За 39-летний период по этому направлению селекции осуществлено 316 комбинаций скрещивания, опылено 443 тыс. цветков, выращено 97,6 тыс. однолетних сеянцев. В селекционные сады после многочисленных браковок высажено

19 тыс. сеянцев. От высококовитаминных родительских сортов (Ренет Фрома золотой – 31,5 мг/100 г, Несравненное – 27,1 мг/100 г, Бабушкино – 23,7 мг/100 г) как правило, получали высококовитаминное потомство. Однако и некоторые среднековитаминные сорта, например, Оранжевое и Скрыжапель, дали высококовитаминное потомство.

При селекции на повышенное содержание АК в плодах новый этап связан с целенаправленными ступенчатыми (сложными) скрещиваниями, когда лучшие сеянцы от простых скрещиваний используются в гибридизации между собой или с высококовитаминными сортами [14, 15]. От ступенчатых скрещиваний нами получены сеянцы с содержанием АК в плодах от 45 до 100 мг/100 г.

Наибольший селекционный интерес представляют гибридные сеянцы с высоким содержанием АК по семье и с высоким коэффициентом вариации этого признака. Из 19 гибридных семей, изученных нами, в 6 семьях наследование можно охарактеризовать как отрицательное доминирование, в 2 – как отрицательное сверхдоминирование, в одной – как положительное сверхдоминирование (рис. 2) и в 10 – как промежуточное проявление признака. Семьи с высокой положительной трансгрессией представляют особый интерес для отбора высококовитаминных сеянцев и использования лучших из них для даль-

нейшей селекции.

Положительная степень трансгрессии по содержанию АК в плодах отмечена нами, например, у сорта селекции ВНИИСПК Ивановское (рис. 3).

Нами выявлено большое разнообразие по содержанию АК в плодах и других признаков у различных сеянцев одной гибридной семьи. Это обстоятельство дает возможность селекционеру отбирать сеянцы, совмещающие высокое содержание АК в плодах и другие хозяйственно-биологические признаки.

#### Р-активные вещества (витамин Р).

Р-активные вещества нормализуют кровяное давление человека, укрепляют стенки сосудов. Они находятся в тесной взаимосвязи с АК, тем самым снижая ее потребность для организма.

Для профилактики заболеваний, а также поддержания физической и умственной активности организма витамин Р необходим по 100-200 мг в сутки. Для оказания лечебного действия суточное потребление возрастает в 5-10 раз, то есть до 1-2 г [16].

К настоящему времени выработаны требования к уровню содержания Р-активных веществ в плодах новых сортов яблони при передаче их на государственное испытание: для южной и средней зон России – 200 мг/100 г, для Урала, Сибири и Дальнего Востока – не менее 400 мг/100 г.

Большая вариабельность в содержании Р-активных веществ в плодах

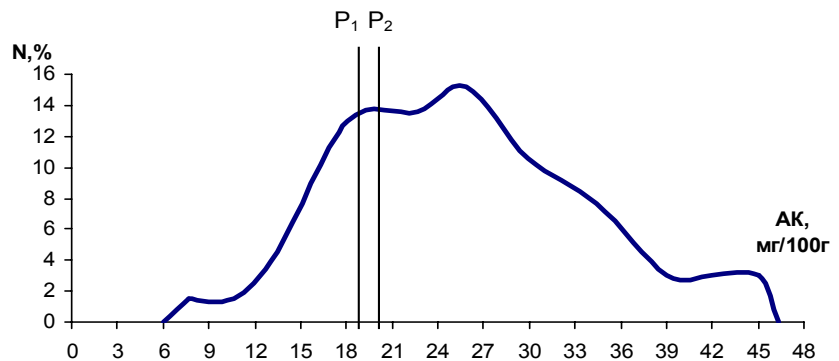


Рисунок 2. Характер наследования содержания аскорбиновой кислоты в плодах по семье №3453 [Ренет Черненко х 4-14-78 (Северный синап х Помон-китайка)]. Положительное сверхдоминирование

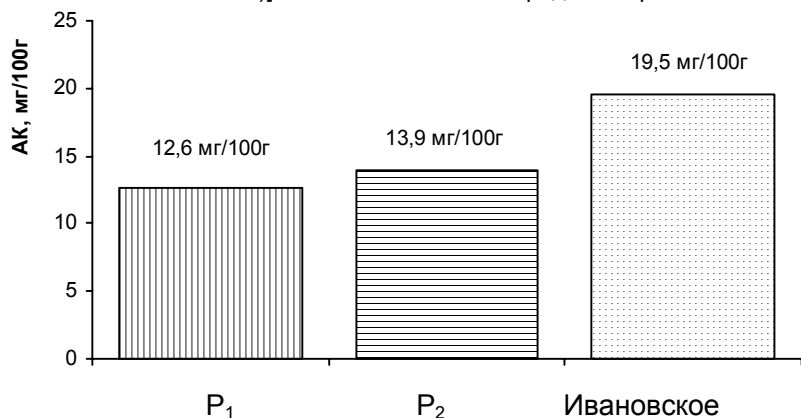


Рисунок 3. Степень трансгрессии по содержанию в плодах АК (мг/100 г) у сорта Ивановское (Уэлси х Прима) равна +40,3 (положительная)

## Биология

наблюдается у всех изученных сортов яблони (от 82 до 866 мг/100 г). В плодах сортов яблони селекции ВНИИСПК содержится от 147 до 639 мг/100 г Р-активных веществ. Особый интерес представляют сорта с высоким содержанием в плодах Р-активных веществ и повышенным содержанием АК. К таким относятся сорта селекции института Чистотел – 460 мг/100 г и 14,6 мг/100 г; Вита – 486 и 21,4 мг/100 г; Орловский пионер – 514 и 14,8 мг/100 г соответственно. Плоды сорта Утренняя звезда обладают высоким содержанием Р-активных веществ (624 мг/100 г) и суммы сахаров (12,0%). Кроме высокого содержания Р-активных веществ плоды сортов Афродита (486 мг/100 г), Орловский пионер (514 мг/100 г) и Кандиль орловский (558 мг/100 г) характеризуются повышенным содержанием пектиновых веществ: 15,0%, 14,5% и 14,0% соответственно.

Большинство новых сортов селекции ВНИИСПК превосходят по содер-

жанию Р-активных веществ широко распространенные контрольные сорта Северный синап – 137 мг/100 г, Осеннее полосатое – 248 мг/100 г, Папировка – 259 мг/100 г.

Изучение 152 элитных и отборных сеянцев яблони показало, что сеянцы с содержанием в плодах Р-активных веществ не менее 400 мг/100 г превосходили по этому показателю лучшего родителя, то есть наблюдалась положительная трансгрессия. О положительном доминировании при наследовании Р-активных веществ в плодах гибридного потомства яблони ранее сообщала В.В. Вартапетян [17]. Большое варьирование по содержанию в плодах Р-активных веществ наблюдалось у сеянцев в пределах одной гибридной семьи. Например, в семье Ренет Черненко х Орлик – от 109 мг/100 г до 622 мг/100 г, в семье Антоновка красноточка х SR0523 – от 267 мг/100 г до 667 мг/100 г, в семье Мекинтош х Бессемянка мичуринская – от 123 до

515 мг/100 г и в семье Антоновка обыкновенная х 814 – от 167 до 478 мг/100 г.

Рекордное содержание в плодах витамина Р (1460 мг/100 г) было отмечено у сеянца 18-36-135, полученного в результате ступенчатого скрещивания [Бабушкино х 12-19-47 (Неизвестный сеянец х Несравненное)].

**Выводы**

Анализ сортового и гибридного фондов яблони, изученных во ВНИИСПК, показывает высокую вариабельность биохимического состава у плодов яблони и дает возможности селекционеру создания новых сортов с высоким содержанием в плодах сахаров, витаминов С и Р в комплексе с другими хозяйственными признаками. Селекция яблони на повышенное содержание в плодах сахаров, витаминов С и Р имеют большие перспективы, так как внедрение в производство таких сортов позволит увеличить пищевую и лечебно-профилактическую ценность плодов без дополнительных затрат невозполнимых источников.

**Литература**

1. Седов Е. Н., Макаркина М. А., Левгерова Н. С. Биохимическая и технологическая характеристика плодов генофонда яблони. Орел : ВНИИСПК, 2007. 310 с.
2. Помология. В 5 т. Т. 1 : Яблоня / под общ. ред. Е. Н. Седова. Орел : ВНИИСПК, 2005. 576 с.
3. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Е. Н. Седова и Т. П. Огольцовой. Орел : ВНИИСПК, 1999. 608 с.
4. Методы биохимического исследования растений. Л. : Агропромиздат, 1987. 430 с.
5. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М. : Агропромиздат, 1985. 352 с.
6. Брюбейкер Д. Л. Сельскохозяйственная генетика. М., 1966. 223 с.
7. Жученко А. А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы): теория и практика. М. : Агрорус, 2008. 814 с.
8. Седов Е. Н., Седова З. А. Перспективы селекции яблони на улучшение химического состава плодов // Селекция яблони на улучшение качества плодов : сб. ст. Орел, 1985. С. 18-26.
9. Комплексная программа по селекции семечковых культур в России на 2001-2010 г. Орел : ВНИИСПК, 2001. 31 с.
10. Седова З. А. Биохимическая характеристика плодов // Каталог сортов яблони (сортовой фонд и его использование). Орел : Орловск. отд. Приок. кн. изд-ва, 1981. С. 74-84.
11. Макаркина М. А., Седов Е. Н., Павел А. Р. Трансгрессии биохимического состава плодов при селекции яблони // Вестник РАСХН. 2007. № 2. С. 55-58.
12. Метлицкий Л. В. Основы биохимии плодов и овощей. М. : Экономика, 1976. 349 с.
13. Седов Е. Н., Седова З. А. Селекция яблони на улучшение химического состава плодов. Орел : Орловск. отд. Приок. кн. изд-ва, 1982. 120 с.
14. Седов Е. Н., Седова З. А., Курашев О. В., Соколова С. Е. Роль ступенчатых скрещиваний в селекции яблони на повышенное содержание аскорбиновой кислоты в плодах // Вестник с.-х. науки. 1991. № 9. С. 140-145.
15. Седов Е. Н., Седова З. А., Соколова С. Е. Ступенчатые скрещивания в селекции яблони на повышенное содержание аскорбиновой кислоты в плодах // Селекция и сортотозведение садовых культур : сб. ст. Орел : ВНИИСПК, 1998. С. 53-59.
16. Вигоров Л. И. Селекция яблони на повышенную витаминность плодов : труды I Всесоюзной конф. по биологически активным веществам плодов и ягод. Свердловск, 1961. С. 169-179.
17. Вартапетян В. В. Наследование витамина С и Р-активных веществ в связи с селекцией яблони на высокую витаминность // Биологически активные вещества плодов и ягод : материалы V Всесоюзного семинара (27-28 марта 1975 г., Москва). М., 1976. С. 47-49.