

## Стабильность развития и динамика содержания витамина С в листьях яблони ягодной в условиях техногенного загрязнения города Новоалтайска

### Stability of development and dynamics of vitamin C content in the leaves of the berry apple tree in the conditions of technogenic pollution of the city of Novoaltaysk

Соколова Г. Г., Обрывко А. А., Кондратьева И. А.

Sokolova G. G., Obryvko A. A., Kondrateva I. A.

*Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Россия. E-mails: sokolova-gg@mail.ru, ira\_kondrateva\_1997@mail.ru  
Altai State University, Barnaul, Russia*

**Реферат.** В статье рассмотрена стабильность развития яблони ягодной в разных условиях произрастания в г. Новоалтайске. Оценена флуктуирующая асимметрия листьев яблони по пяти морфологическим признакам. Выявлены достоверное увеличение по сравнению с контролем ширины листа, длины второй от основания листа жилки второго порядка, расстояния между основаниями первой и второй жилок второго порядка и расстояния между концами первой и второй жилок второго порядка у листьев яблонь, растущих вдоль автодорог и около промышленных предприятий. Выделены 3 зоны, отличающиеся по интегральному показателю стабильности развития листьев у яблонь: условно нормальная (контроль), со средней степенью нарушенности и критическая. Описано закономерное изменение содержания витамина С в листьях яблонь в ряду: контроль → дворы, парки, скверы → дороги со средней интенсивностью движения → дороги с высокой интенсивностью движения → промышленная зона.

**Ключевые слова.** Витамин С, листья яблони, стабильность развития, флуктуирующая асимметрия.

**Summary.** The article considers the stability of the development of the berry apple tree in different growing conditions in Novoaltaysk. The fluctuating asymmetry of apple leaves was evaluated by 5 morphological features. We revealed a significant increase in comparison with the control of the leaf width, the length of the second second-order vein from the base of the leaf, the distance between the bases of the first and second second-order veins and the distance between the ends of the first and second second-order veins in apple leaves growing along highways and near industrial enterprises. There are 3 zones that differ in the integral indicator of the stability of the development of leaves in apple trees: conditionally normal (control), with an average degree of disturbance and critical. A regular change in the vitamin C content in the leaves of apple trees in a row is described: control → courtyards, parks, squares → roads with medium traffic intensity → roads with high traffic intensity → industrial zone.

**Key words.** Apple leaves, development stability, fluctuating asymmetry, vitamin C.

**Введение.** В связи с ростом городов и промышленности в настоящее время увеличилась антропогенная нагрузка на окружающую среду. В настоящее время достаточно актуальными считаются наблюдения за изменениями состояния окружающей среды, которые вызваны воздействием человека.

Город представляет собой урбоэкосистему, качество и состояние которой крайне важны как среда обитания человека. Основными критериями пригодности урбоэкосистемы для жизни человека являются степень загрязнения и санитарно-гигиенические параметры (Никитин, Новиков, 1986). Одним из способов изменения качества городской среды является ее озеленение с целью уменьшения уровня запыления, загрязнения, шумового загрязнения и пр. Растительность в городах способствует улучшению состояния воздушной среды и микроклимата городских экосистем, повышает эстетические качества застройки, обеспечивает горожан комфортными условиями проживания и отдыха, поэтому площадь озеленения в городах должна быть значительной (Зарубин, Новиков, 1986; Макевнин, Вакулин, 1991).

Для оценки загрязнения окружающей среды городских экосистем чаще всего используют многолетние древесные растения. Растительный покров реагирует на все изменения внешней среды, поэтому может использоваться для оценки состояния экосистем. Фитоиндикация менее затратна с экономической точки зрения, дает быстрые и адекватные результаты, позволяет выявить степень загрязнения воздушного бассейна городов.

В условиях активного техногенного загрязнения токсичные вещества, находящиеся в атмосфере, оказывают большое влияние на физиолого-биохимические процессы растений (Соколова, Тиньгаева, 2008). При техногенном загрязнении токсиканты активно воздействуют на растения, которые в силу прикрепленного образа жизни подвергаются стрессовому воздействию. Адаптация растений может происходить на физиолого-биохимическом и анатомо-морфологическом уровнях, направленных на поддержание гомеостаза и сохранении генотипа (Чернышенко, 2002; Опекунова, 2016).

Растения эволюционно не приспособлены к такому антропогенному фактору, как загрязнение окружающей среды. Большая часть растений имеют способность накапливать в органах токсиканты, которые при проникновении в органы и ткани, оказывают влияние на обмен веществ клеток. Токсиканты вступают в химические взаимодействия на уровне мембран клеток. Накопление токсикантов в организме растений приводит к нарушению структуры ассимиляционного аппарата (Скочилова, Закамская, 2013).

При повышении степени экстремальности условий произрастания в клетках древесных растений осуществляется синтез ряда веществ, обладающих защитными функциями и антиоксидантными свойствами. Любые морфологические и биохимические изменения происходят при изменениях на химическом уровне в системе метаболизма (Судачкова и др., 2015).

Витамины – это низкомолекулярные вещества различной химической природы, которые необходимы для нормального функционирования организма. В жизнедеятельности растений витамины играют разную роль: входят состав многих ферментов, участвуют в процессах фотосинтеза и дыхания. Аскорбиновая кислота выполняет в растениях антиоксидантную функцию, препятствуя развитию процессов свободно-радикального окисления, приводящих к негативным последствиям (Чупахина, 1997). Благодаря своей способности обратимо окисляться и восстанавливаться витамин С входит в систему защиты растений от загрязнения воздуха (Лукъянчук, Жбанова, 2017).

Целью нашей работы являлась оценка стабильности развития и выявление динамики содержания витамина С в листьях яблони ягодной в условиях техногенного загрязнения города Новоалтайска.

**Объекты и методы исследования.** Город Новоалтайск расположен на правом берегу р. Оби, вдоль нижнего течения реки Чесноковки, в 12 км от г. Барнаула. Новоалтайск – это административный центр Первомайского района, в котором расположены такие промышленные предприятия, как картонно-рубероидный и вагоноремонтный заводы.

Широко распространенным древесным растениям, используемым для озеленения г. Новоалтайска, является яблоня ягодная (*Malus baccata* (L.) Borkh. var. *sibirica* C. K. Schneid.). Это небольшое листопадное дерево высотой до 10 м. Яблоня – морозоустойчивое и зимостойкое дерево, нетребовательное к почвам, с высоким иммунитетом к паразитам и болезням. Отличается неприхотливостью, низкорослостью, высокими декоративными свойствами (Деревья и кустарники СССР, 1951; Губанов и др., 2003).

Сбор листьев яблони осуществлялся в летний период времени в различных местах произрастания: скверы и дворовые территории, автомагистрали, промышленная зона. Сбор листьев проводился после окончания роста листьев с одновозрастных деревьев с четко выраженными видовыми признаками. Все экземпляры яблонь и берез, с которых отбирались пробы, росли на открытых участках, чтобы избежать стрессового влияния условий затенения и увлажнения. В одной точке с нескольких деревьев в нижней части кроны отбиралось по 100 неповрежденных листьев, которые помещали в гербарий, этикетировали и высушивали.

Для оценки флуктуирующей асимметрии были проведены измерения пяти морфологических параметров листа: ширина левой и правой половинок листа, длина второй от основания листа жилки второго порядка, расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка, расстояние между концами первой и второй жилок второго порядка, угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка (Захаров и др., 2001; Баранов, Бурдакова, 2015). Для оценки стабильности развития деревьев использовали интегральный показатель (средняя величина относительного различия между сторонами на признак). Для этого вычисляли показатель асимметрии по каждому из пяти признаков, суммировали значения относительных величин асимметрии по пяти признакам, вычисляли среднюю арифметическую всех величин асимметрии для одного листа. Далее вычисляли величину асимметрии в выборке для всех листьев (Методические рекомендации ..., 2003). Для оценки степени нарушения стабильности развития использовали пятибалльную шкалу (Баранов,

Бурдакова, 2015), в которой каждый балл соответствует норме или определенной степени отклонения от нормы.

Все необходимые расчеты проводились в программе Microsoft Excel. Для оценки статистической значимости различий между выборками по величине индекса стабильности развития использовали *t*-критерий Стьюдента (Лакин, 1980).

Для количественного определения витамина С в листьях яблони использовали фотоколориметрический метод. Содержание аскорбиновой кислоты (в мг/г) определяли по следующей формуле (Рогожин, 2013):

$$C_{\text{АК}} = (C \times V_1 \times V_2) / (P \times V),$$

где С – концентрация аскорбиновой кислоты, определенная по калибровочному графику, мг/мл;  $V_1$  – общий объем гомогената растительной ткани, мл;  $V_2$  – конечный объем пробы в пробирке, мл; Р – навеска растительной ткани, г; V – объем супернатанта, взятого для определения, мл.

**Результаты и обсуждение.** В ходе исследования нами была охарактеризована флуктуирующая асимметрия и оценена стабильность развития листьев яблони, а также установлены закономерности содержания витамина С в листьях яблонь, растущих в разных условиях техногенного загрязнения г. Новоалтайска.

**Флуктуирующая асимметрия листьев яблони.** При произрастании яблони в различных условиях техногенного загрязнения г. Новоалтайска симметрия по ширине листа в основном не нарушалась, но изменялась размерность данного параметра от 25 мм до 30 мм. Достоверное уменьшение ширины листа по сравнению с контролем выявлено у яблонь, растущих вдоль автодорог (на 14–15 %) и в промышленной зоне (на 15–20 %). Нарушение билатеральной симметрии зафиксировано у яблонь, растущих в промышленной зоне.

Достоверное увеличение на 3–12 % по сравнению с контролем длины второй от основания листа жилки второго порядка отмечено для листьев яблонь, растущих вдоль автодорог со средней интенсивностью движения, и достоверное уменьшение на 5–11 % – у листьев яблонь в промышленной зоне. Достоверных изменений в симметрии по признаку длины второй от основания листа жилки второго порядка у яблонь, растущих в разных районах города, не обнаружено. Следовательно, на данный морфологический параметр не влияет уровень техногенного загрязнения.

Выявлено достоверное увеличение расстояния между основаниями первой и второй жилок второго порядка по сравнению с контролем на 11–21 % у яблонь, растущих вдоль дорог со средней интенсивностью движения. Достоверное уменьшение данного параметра на 14–30 % характерно для яблонь, растущих в промышленной зоне. Отмечено нарушение симметричности развития листьев по данному признаку у яблонь в промышленной зоне.

Проведенные нами исследования показали, что достоверное увеличение расстояния между концами первой и второй жилок второго порядка на 3–16 % характерно для яблонь, растущих вдоль автодорог со средней интенсивностью движения транспорта. Достоверное уменьшение на 15–24 % отмечено у яблонь, растущих вдоль дорог с высокой интенсивностью движения и в промышленной зоне. Нарушение в симметрии по исследуемому признаку отмечено только у яблонь в промышленной зоне.

Величина угла между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка в листьях яблонь, растущих в разных районах города, по сравнению с контролем достоверно не изменялась. Симметричность развития листьев яблонь по этому признаку не нарушена.

Таким образом, техногенное загрязнение, действующее на яблони в период вегетации, приводит к отклонению в билатеральной симметрии листовых органов, что отмечают и другие авторы (Гарифзянов, 2011).

**Стабильность развития листьев яблони.** Интегральный показатель стабильности развития листьев яблони, высчитанный по пяти билатеральным морфологическим параметрам, показал, что в большинстве загрязненных мест обитания у яблонь нарушается симметрия и стабильность развития листовых органов. Анализ стабильности развития яблонь, растущих в условиях г. Новоалтайска, показал, что в благоприятных условиях (парки, дворы, скверы) листья яблонь характеризуются стабильным развитием. Средний уровень отклонения от нормы отмечен для листьев яблонь, растущих

вдоль дорог со средней интенсивностью движения транспорта. Отклонения от нормального развития и сильно угнетенное, критическое состояние характерно для листьев яблонь, произрастающих вдоль дорог с высокой интенсивностью движения транспорта и в промышленных зонах (табл. 1).

Таблица 1

Оценка флуктуирующей асимметрии (ФА) и стабильности развития (СР) листьев яблони в условиях г. Новоалтайска

Точки отбора проб	ФА	СР	Характеристика показателя стабильности развития
Контроль	0,034	I	условно нормальное
Дворы, парки, скверы	0,036	I	условно нормальное
Дороги со средней интенсивностью движения транспорта	0,068	III	средний уровень
Дороги с высокой интенсивностью движения транспорта	0,086	V	критическое состояние
Промышленная зона	0,095	V	критическое состояние

Содержание витамина С. Анализ содержания витамина С в листьях яблонь, растущих в условиях города Новоалтайска, выявил его изменение в диапазоне от 70 (контроль) до 158 мг/л (промышленная зона). Содержание витамина С в листьях яблонь, произрастающих во дворах, было достоверно больше по сравнению с контролем на 12 %; растущих вдоль дорог со средней интенсивностью движения, – на 50 %; растущих вдоль дорог с интенсивным движением, – на 75 %; растущих в промышленной зоне, – на 125 % (табл. 2).

Таблица 2

Содержание витамина С в листьях яблони, растущих в различных условиях г. Новоалтайска

Точки отбора проб	Содержание витамина С, мг/л
Контроль	70,4 ± 0,2
Дворы, парки, скверы	<b>79,2 ± 0,3</b>
Дороги со средней интенсивностью движения транспорта	<b>105,6 ± 0,6</b>
Дороги с высокой интенсивностью движением транспорта	<b>123,2 ± 0,4</b>
Промышленная зона	<b>158,4 ± 0,3</b>

Примеч.: **158,4 ± 0,3** – значение достоверно при  $p \leq 0,05$ .

Аскорбиновая кислота является антиоксидантом и, благодаря своей способности обратимо окисляться и восстанавливаться, участвует в важнейших энергетических процессах растительной клетки (фотосинтезе и дыхании). Изменение содержания аскорбиновой кислоты в листьях яблони свидетельствует о нарушении физиолого-биохимических процессов и высокой чувствительности вида к техногенному загрязнению (Чупахина, 1997).

#### Выводы.

1. У листьев яблонь, растущих вдоль автодорог и около промышленных предприятий, достоверно увеличивается ширина листа, длина второй от основания листа жилки второго порядка, расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка и расстояние между концами первой и второй жилок второго порядка.

2. Нарушение билатеральной симметрии по признакам ширины листа, расстояния между основаниями и концами первой и второй жилок второго порядка зафиксировано у яблонь, растущих в промышленной зоне. Симметричность развития листовых органов по признакам длины второй от

основания листа жилки второго порядка и углу между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка не нарушена.

3. Интегральный показатель стабильности развития листьев яблонь, растущих в г. Новоалтайске, соответствует условно нормальному (контроль), среднему (дороги со средней интенсивностью движения) и критическому (дороги с высокой интенсивностью движения и промышленная зона) состоянию.

4. Содержание витамина С в листьях яблонь увеличивается по сравнению с контролем в ряду: контроль → дворы, парки, скверы → дороги со средней интенсивностью движения → дороги с высокой интенсивностью движения → промышленная зона.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Баранов С. Г., Бурдакова Н. Е.** Оценка стабильности развития. Методические подходы. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2015. – 72 с.
- Гарифзянов А. Р.** Исследование антиоксидантной активности древесных растений в условиях промышленного загрязнения: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Пущино, 2011. – 22 с.
- Губанов И. А. и др.** *Betula pendula* Roth (*B. verrucosa* Ehrh.) – Берёза повислая, или бородавчатая // Иллюстрированный определитель растений Средней России. В 3-х т. – Т. 2. Покрытосеменные. – М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2003. – С. 31.
- Деревья и кустарники СССР. Дикорастущие, культивируемые и перспективные для интродукции.* Т. 2. Покрытосеменные. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1951. – 612 с.
- Зарубин Г. П., Новиков Ю. В.** Гигиена города. – М.: Медицина, 1986. – 79 с.
- Захаров В. М., Жданова Н. П., Кирик Е. Ф., Шкиль Ф. Н.** Онтогенез и популяция: оценка стабильности развития в природных популяциях // Онтогенез, 2001. – Т. 32, № 6. – С. 404–421.
- Лакин Г. Ф.** Биометрия. – М.: Высшая школа, 1980. – 293 с.
- Лукьянчук И. В., Жбанова Е. В.** Биологически активный комплекс плодов земляники // Плодоводство, 2017. – Т. 29. – С. 150–159.
- Макевнин С. Г., Вакулин А. А.** Охрана природы. – М.: ВО, 1991. – С. 81–82.
- Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур).* – М., 2003. – 21 с.
- Никитин Д. П., Новиков Ю. В.** Окружающая среда и человек. – М.: Высшая школа, 1986. – 415 с.
- Опекунова М. Г.** Биоиндикация загрязнений. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2016. – 266 с.
- Рогожин В. В.** Практикум по биохимии. – СПб.: Лань, 2013. – С. 344–356.
- Скочилова Е. А., Закамская Е. С.** Изучение биохимических показателей *Betula pendula* Roth. в условиях городской среды // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2013. – № 3. – С. 782–784.
- Соколова Г. Г., Тиньгаева А. Ю.** Биоиндикация загрязнения воздуха в г. Барнауле // Известия АГУ, 2008. – № 3. – С. 19–21.
- Судачкова Н. Е., Милютин И. Л., Романова Л. И., Астраханцева Н. В.** Действие дефолиации на рост и метаболизм сосны обыкновенной // Сибирский экологический журнал, 2015. – Т. 22, № 1. – С. 28–35.
- Чернышенко О. В.** Поглощательная способность и газоустойчивость древесных растений в условиях города, – М.: МГУЛ, 2001. – 120 с.
- Чупахина Г. Н.** Система аскорбиновой кислоты растений. – Калининград: изд-во Калининград. ун-та, 1997. – 120 с.