

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ
«ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР»**

**Всероссийский конкурс юных исследователей окружающей среды
имени Б.В. Всесвятского (с международным участием)**

«Ботаника и экология растений»

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ТРОЙЧАТОСЛОЖНОГО ЛИСТА
КЛЕВЕРА С ПОМОЩЬЮ ТЕРАТНЫХ ФОРМ**

Авторы:

**Давиденко Артем Сергеевич, 8 класс
Меньшикова Софья Максимовна, 6 класс**

Руководитель:

**Михайленко Светлана Алексеевна
Педагог дополнительного образования**

г. Краснодар, 2025 год

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	4
МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ.....	7
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.....	8
Тераты клевера с описанием.....	8
Анатомия тератных форм.....	12
Эволюция тройчатосложного листа.....	15
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	18
ВЫВОДЫ.....	19
СПИСОК ИСПЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	20

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы эволюционной морфологии всегда занимали умы учёных. И действительно, как шла эволюция растений? Почему листья имеют ту или иную форму? Существует множество гипотез на этот счёт, и в нашем исследовании мы попробуем проверить одну из них.

Время от времени у растений возникают различные уродства листьев (или по-научному – тераты). Раньше считалось, что это случайные мутации, поэтому активно такие формы начали изучаться примерно с 20 века. На сегодняшний день уже понятно, что такие тератные формы – мощный движущий процесс, на основании которого можно проследить направления эволюции листа растений.

Мы в качестве модельного объекта выбрали растения Клевера лугового (красного), как вида широко распространённого.

Актуальность исследования. На примере модельного растения мы решили проверить одну из гипотез эволюции сложного тройчатого листа клеверов. Такие исследования, несущий богатый фактический материал, помогут правильно понимать эволюционные процессы, покажут направления эволюции в доступной форме не только для учащихся химико-биологических классов с углубленным изучением биологии, но и для всех любителей природы.

Цель работы: показать возможные пути эволюции сложного листа клевера с использованием данных тератных форм.

Задачи исследования:

1. Найти в пределах г. Краснодара различные тератные формы листа клевера лугового;
2. Провести морфологический и анатомический анализ тератных форм;
3. Предложить наиболее вероятный эволюционный путь развития сложного листа клевера.

Гипотеза исследования: тройчатосложный лист клевера произошел от предкового перисто-сложного листа.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Глобальное антропогенное влияние на флору приводит к возникновению ответных реакций: появляются аномальные тератоморфы с крупными нарушениями строения или условно нормальные с менее резкими нарушениями морфологии [Соколов, 1998]. В связи с этим, некоторые исследователи считают, что на сегодняшний день происходит так называемое «антропогенное» видообразование [Цаценко, 1997].

Наибольшее количество тератологических изменений растений зафиксировано в местах повышенного загрязнения, т.е. тяжелыми металлами, пестицидами и т.д. [Дорофеев, 2002]. Согласно исследованиям других ученых, появление тератов связано не только с деятельностью человека, но и в результате воздействия различных возбудителей, например, грибковые, вирусные и бактериальные заболевания, влияние личинок и взрослых насекомых, что вызывает так называемые паразитарные тераты [Федоров, 1958; Шилов, 2001].

На сегодняшний день тератология растений рассматривается с нескольких позиций. Во-первых, это индикаторная роль в связи с деятельностью человека [Залесов, 2007]. В результате загрязнения среды, когда перекрываются адаптационные возможности, полиморфные и широкоареальные виды адаптируются к новым условиям, образуя тераты, что является показателем неблагоприятного влияния антропогенных факторов [Шаповалова, 2015].

Во-вторых, это эволюционная морфология и филогения покрытосеменных растений [Матвеев, 2006; Серебряков, 1962; Дорофеев, 2002]. Так как высокий процент тератов в ценопопуляциях свидетельствует о мутационных изменениях в геноме, поэтому тератологические уродства являются нарушением генетической программы развития [Балагезян, 1965]. Современные исследования убедительно доказали, что обнаруженные уродства вегетативных и генеративных органов, обладают чертами строения, характерными для предков этих растений [Тупицин, Рябогина, Тупицина, 2012].

В-третьих, это видообразование. Так как тератогенез – это крайнее проявление нормальной изменчивости организмов [Иващенко, 2014], поэтому тератологические изменения показывают генетически заложенные возможности развития растений, не проявляемые в норме.

Существует несколько тератных форм [Тутатюк, 1969]: гигантизм, карликовость, альбинизм, фасциация, полимеризация, махровость, гипертрофия отдельных органов, пролиферация и т.д.

Примеры различных тератных форм показаны на рисунке 1.



Гигантизм



Норма и карликовость



Альбинизм



Фасциация



Полимеризация



Махровость



Гипертрофия



Пролификация

Рисунок 1 - Примеры различных типов тератов

Проблема изменчивости листа цветкового растения уже давно активно изучается в морфологии растений. В настоящее время существует примерная схема направлений эволюционного развития листьев с разнообразными переходами от одной формы к другой (рисунок 2) [Корона, 1987].

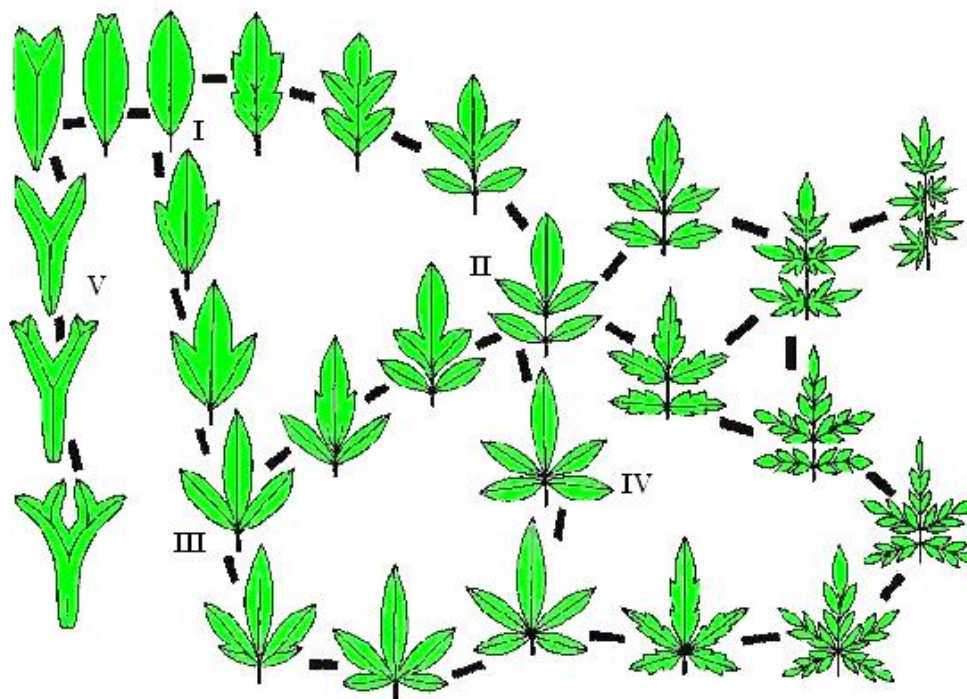


Рисунок 2 - Примерная эволюция листа

Дальнейшие исследования позволят уточнить и дополнить знания по филогенезу листа цветковых растений, поэтому целью нашей работы было изучение, на основе анатомии и морфологии тератных и нормальных форм, возможного пути эволюции тройчатосложного листа клевера.

Согласно исследованиям ученых [Балагезян, 1965; Тутатюк, 1969; Дорофеев, 2002; Синюшин, 2010; Иващенко, 2014], тератология позволяет проследить эволюцию и филогению покрытосеменных растений. Разнообразные уродства (тераты) обладают чертами строения, характерными для предков этих растений [Тупицин, Рябогина, Тупицина, 2012], поэтому и можно предположить об эволюционных путях в развитии тройчатосложного листа клевера.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Нормальный лист клевера лугового представлен на рисунке 4.











Рисунок 4 - Нормальные тройчатосложные листья клевера лугового


Тераты клевера с описанием

В процессе исследования нами были обнаружены 14 уродств – тератов – листа клевера лугового (таблица 1).

Номер	Фотографии	Описание
1		Трехлистный клевер с недоразвитым третьим листочком

2		Трехлистный клевер с низко расположенным маленьким листочком
3		Трехлистный клевер с маленьким средним листочком
4		Трехлистный клевер со сросшимся средним листочком посередине
5		Трехлистный клевер с дополнительной лопастью на среднем листочке

6		Трехлиственный клевер с двумя дополнительными лопастями на среднем листочке
7		Четырехлиственный клевер с недоразвитым третьим листочком и маленьким четвертым листочком
8		Четырехлиственный клевер с мутовчатым расположением листочков
9		Четырехлиственный клевер с маленьким четвертым листочком

10		<p>Четырехлистный клевер с обращенным листочком</p>
11		<p>Четырехлистный клевер с супротивным расположением листочков</p>
12		<p>Пятилистный клевер с мутовчатым расположением листочков</p>
13		<p>Пятилистный клевер с двумя маленькими листочками</p>

14



Пятилиственный клевер с супротивным расположением листочков

Лист клевером может иметь следующие виды уродств (рисунок 5):

- Двулиственный с недоразвитием третьего (непарного) листочка
- Четырехлиственный с мутовчатым расположением листочков
- Пятилиственный с мутовчатым расположением парных листочков
- Пятилиственный с супротивным расположением парных листочков
- Четырехлиственный с небольшим (маленьким) парным листочком
- Четырехлиственный с обращенным листочком (нижняя часть листочка обращена вверх, а верхняя – вниз)

У последнего типа клевера анатомическое строение органов листа характерно для трехлистного типа, за исключением обращенного листочка: его верхний эпидермис (функционально нижний) имеет очень маленькие устьица (такие как на верхней части обычного листа), и нижний эпидермис (функционально верхний) тоже имеет очень маленькие устьица.

Возможно, это приспособление обращенного листа к уменьшению испарения воды нижней частью листочка, которая стала верхней.

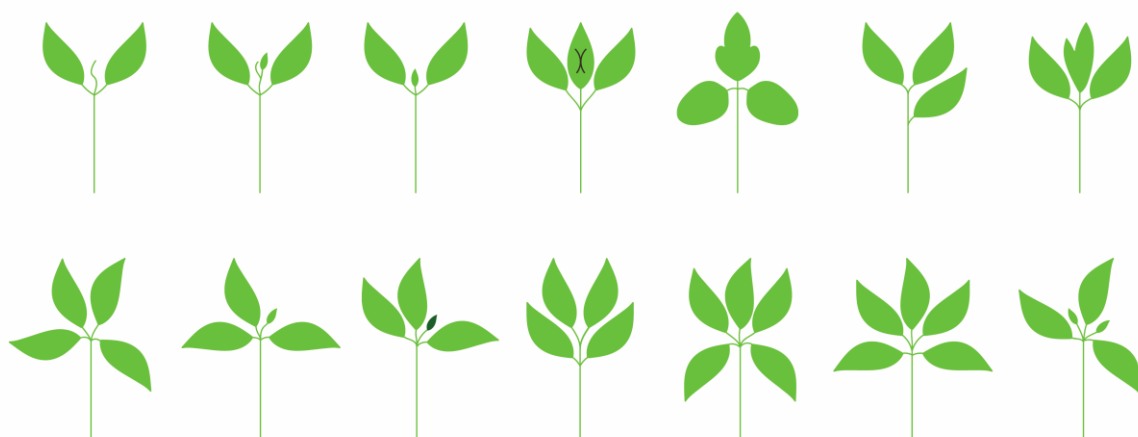


Рисунок 5 - Обобщенная схема тератов листа клевера

Анатомия тератных форм

В процессе изучения клевера в полевых условиях были обнаружены, кроме обычной тройчатосложной формы, четырехлистные и пятилистные тератные листья. Была выдвинута рабочая гипотеза, что тройчатосложный лист явление вторичное, поэтому возникла необходимость определить исходную (первичную) форму листа.

Анатомическое изучение позволило выявить необычную форму тройчатосложного листа (рисунок 6).



Рисунок 6 - Новая форма тройчатосложного листа

Сложный лист состоит из общего черешка – рахиса и листовых пластинок (листочков), соединённых с ним маленькими черешочками (рисунок 7).



Рисунок 7 - Схема строения сложного листа

В норме у клевера лугового в рахисе пять проводящих пучков (рисунок 8).

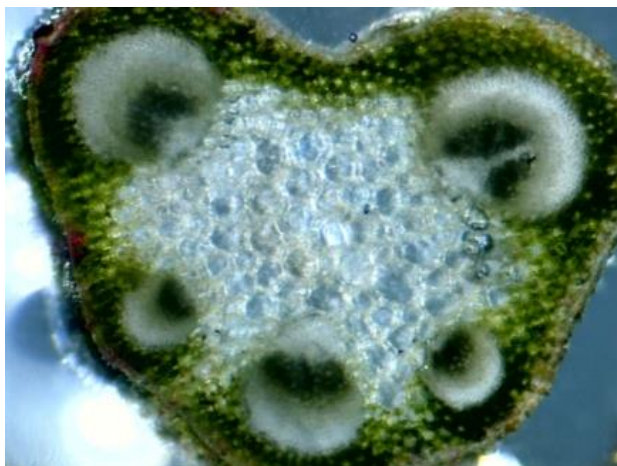


Рисунок 8 - Срез черешка тройчатосложного листа клевера лугового

На рисунке 8 видно, что трехлистные клевера имеют 5 проводящих пучков в рахисе сложного листа. В узле происходит слияние этих пучков, и разделение на три части, которые переходят в черешки листочков (по одному проводящему пучку в центре).

Новая тератная форма трехлистного клевера лугового имела принципиально другое строение: одинаковое количество проводящих пучков в рахисе и черешке среднего листочка (по три) (рисунок 9).

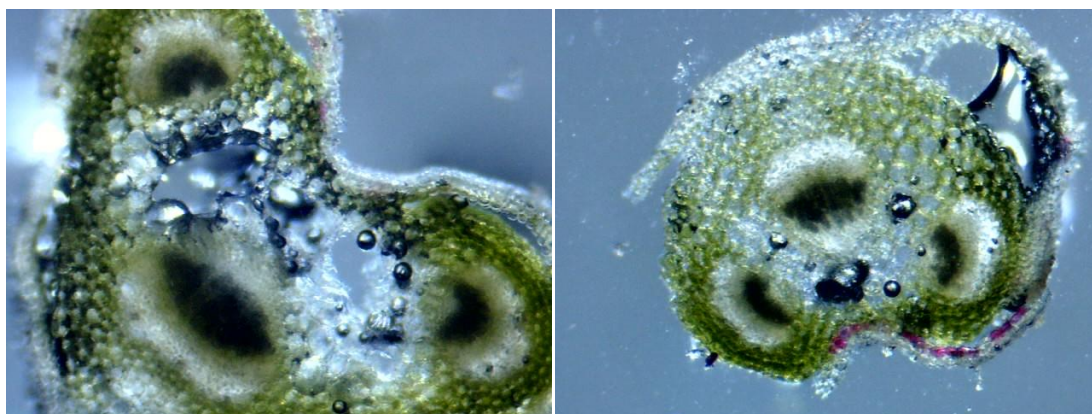


Рисунок 9 - Анатомия рахиса (слева) и черешка среднего листа (справа)

На рисунке 9 видно, что в рахисе сложного листа три крупных проводящих пучка, которые после узла (и отхождения двух боковых листочков) продолжают в черешок среднего листочка. Далее следует дополнительный небольшой узел, слияние проводящих пучков, и около листочка появляется один пучок в центре (рисунок 10).

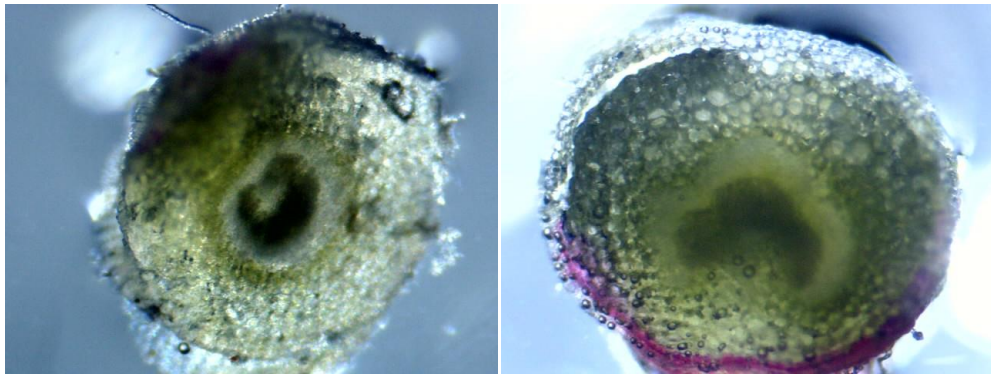


Рисунок 10 - Черешок бокового листочка (слева) и среднего листочка после узла (справа)

Эволюция тройчатосложного листа

В конечном итоге, схема тератной трехлистной формы может выглядеть следующим образом (рисунок 11). Данная схема наглядно демонстрирует, что исходной является все-таки перистая форма листа. Это доказывается наличием двух узлов, двух рахисов и двух черешков.

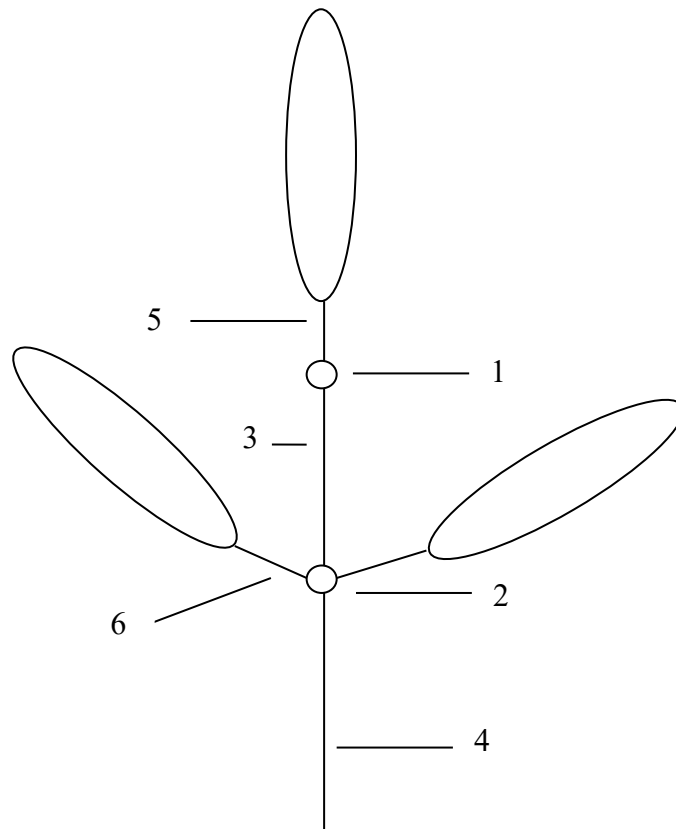


Рисунок 11 - Схема строения тератной формы листа

Обозначения: 1 – узел первый, 2 – узел второй, 3 – рахис первый, 4 – рахис второй, 5 – черешок первый, 6 – черешок второй

Дополнительным аргументом, в пользу предположения о первичности перистого листа, можно считать обнаружение двух дополнительных лопастей (реже одной лопасти) среднего листочка (рисунок 12).



Рисунок 12 - Листья клевера с дополнительными лопастями среднего листочка

Это явление можно объяснить неполным расхождением в онтогенезе боковых лопастей, что в конечном итоге привело бы к появлению пятилистного клевера.

Согласно данным анатомии и морфологии нормальной и тератных форм листа можно предположить их вероятный путь эволюции (рисунок 13).

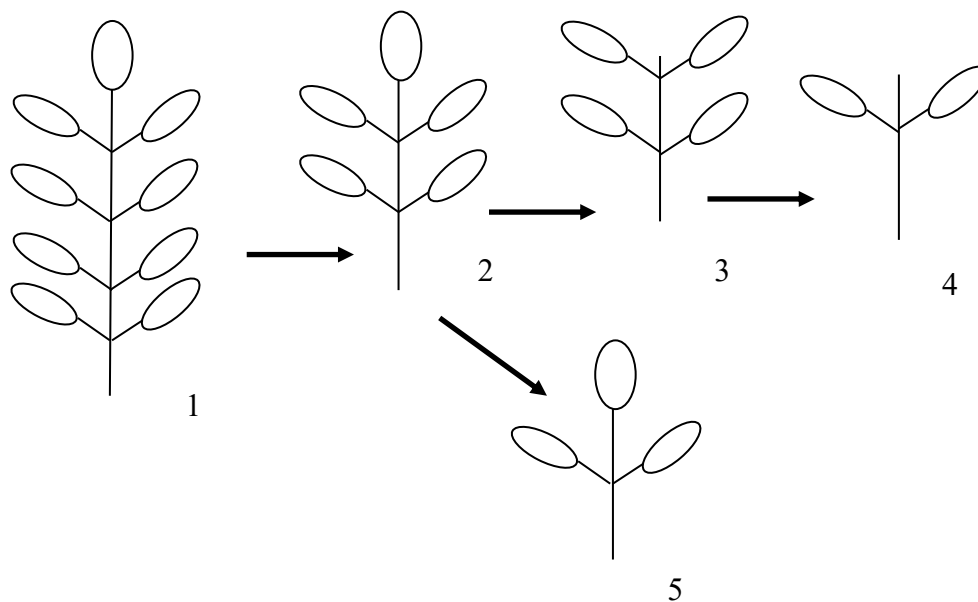


Рисунок 13 - Вероятная схема эволюции тройчатосложного листа клевера

Первоначальной формой тройчатосложного листа является перистый лист с пока неопределенным числом боковых листочков (смотри рисунок 13). Далее, от него берет начало пятилистная форма клевера, которая разделяется на два пути: трехлистная форма и четырехлистная форма (вероятно, в связи с

редукцией среднего листочка), от которой, в свою очередь, идет очень редкая тератная двулистная форма с недоразвитой средней листовой пластинкой.

Данная схема является предположительной, поэтому вероятен и такой вариант, когда от перистого листа произошел тройчатосложный лист, а от него остальные тератные формы. Подтвердить или опровергнуть эту гипотезу смогут дальнейшие исследования.

Таким образом, мы предполагаем, что тройчатосложный лист произошел в процессе уменьшения числа боковых листочков исходного сложного перистого листа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На наш взгляд из всего этого следует, что, благодаря тератным формам и данным петиолярной анатомии, можно предположить путь эволюции листа клеверов. Данные факты наглядно показывают, что перистый лист является наиболее древней формой, а тройчатосложные листья – это уже производные первичного листа.

Тератные формы представляют собой реверсии к исходной форме листовой пластинки. Согласно представлениям С.В. Мейена о происхождении и эволюции листовой пластинки [Корона, 1987], возможен переход между тройчатой формой и перистой, что прекрасно согласуется с нашими результатами.

Наша гипотеза полностью подтвердилась.

ВЫВОДЫ

Согласно данным, полученным в ходе исследования, можно сделать следующие выводы:

1. Мы нашли в г. Краснодаре 14 типов тератных форм листа клевера (четырёхлистные, пятилистные формы, лопастные, сросшиеся и т.д.);
2. Морфологический анализ и анатомические исследования сложного черешка – рахиса – тератных форм листьев клевера показали, что они исходят от одной предковой формы – перисто-сложного листа;
3. Нами был предложен примерный эволюционный ход развития сложного листа растений рода Клевер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балагезян К.А. Некоторые физиологические особенности растений, формирующих махровые цветки. Атореф. канд. биол. наук. Ереван, 1965, 22с.
2. Дорофеев В.И. Тераты крестоцветных: их место в эволюции и систематике семейства. *Turczaninowia*, 2002, № 5(4), с. 23-30.
3. Залесов С.В., Зотеева Е.А., Магасумова А.Г., Швалева Н.П. Основы фитомониторинга: учебное пособие. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2007 – 76 с.
4. Иващенко А.А. Количественные показатели тератологической изменчивости казахстанских тюльпанов в природе и культуре // *Modern Phytomorphology*, № 6, 2014, с. 151 – 154.
5. Корона В.В. Основы структурного анализа в морфологии растений. Свердловск: Изд-во Урал. ун-та, 1987, 272 с.
6. Матвеев, Н.М. Биоэкологический анализ флоры и растительности (на примере лесостепной и степной зоны): учебное пособие / Н.М. Матвеев. Самара: Изд-во Самарский университет», 2006 311 с.
7. Серебряков, И. Г. Экологическая морфология растений / И. Г. Серебряков. М. : Высшая школа. 1962 378 с.
8. Синюшин А.А. Фасциация цветка. Происхождение увеличенной меристемы // *Вестник Московского ун-та*, сер. 16, № 3, 2010, с. 11 – 16.
9. Соколов М.С. Биогеоценотические критерии экологического нормирования / М.С.Соколов, О.Д. Филипчук, Л.В.Цаценко // *Сельскохозяйственная биология*. 1998.– Т.33.№ 3– С. 3–24.
10. Тупицин С.С., Рябогина Н.Е., Тупицина Л.С. Уровень тератогенеза как показатель состояния биообъекта в разных экологических условиях // *Известия Самарского научного центра Российской Академии наук*, том 14, № 1(3), 2012, с. 822 – 828.
11. Тутаюк В.Х. Тератология цветка. Баку: Издательство Академии наук Азербайджанской ССР, 1969, 112с.
12. Федоров Ал. А. Тератогенез и его значение для формо- и видообразования растений. Проблемы вида в ботанике. Т. 1, 1958, с. 212-293.
13. Цаценко Л.В. Фитотестирование загрязнения агроландшафта/ Л.В. Цаценко, О.Д. Филипчук // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*.–1997.– №3.–С.39–41.
14. Шаповалова А. А. Экология растений : Учеб.-метод. пособие. Саратов : Изд-во «Саратовский источник», 2015 - 80 с.
15. Шилов М.П., Шилова Т.Н., Минеева Л.Ю. Случаи аномального развития растений в Ивановской и Владимирской областях. Краеведческие записки. Вып. VI. Иваново, 2001, с. 211-217.