

**Открытый региональный конкурс исследовательских и  
проектных работ школьников  
«Высший пилотаж - Пенза» 2022**

**«Действие загрязняющих веществ на  
накопление антоцианов в растительных  
тканях»**

Автор: Чертова Алиса Дмитриевна,  
8 «Е» класс,  
муниципальное бюджетное  
общеобразовательное учреждение  
«Лицей современных  
технологий управления № 2» г.Пензы.

Научный руководитель: Хлапушина Кристина Борисовна,  
учитель биологии,  
муниципальное бюджетное общеобразовательное  
учреждение «Лицей современных  
технологий управления № 2» г.Пензы.

Пенза  
2022 год

---

✉ 440008, г. Пенза, ул. Бакунина, 115

☎ телефон /841-2/ 54-20-44; e-mail: [school02@guoedu.ru](mailto:school02@guoedu.ru)

[Http://www.lstu2.ru](http://www.lstu2.ru)

## Содержание

Введение.....	2
1. Общая характеристика антоцианов.....	3
2. Химическое строение.....	3
3. Распространение в природе .....	4
4. Функции антоцианов .....	5
5. Характеристика объекта исследования.....	5
6. Влияние поллютантов на накопление антоцианов в модельном опыте на проростках ячменя .....	6
Заключение.....	8
Библиографический список.....	9

## Введение

Биосинтез антоцианов является неспецифической реакцией на стрессовые условия произрастания, а именно, на уровень загрязнения атмосферы, почвы городской среды. [1] Содержание антоцианов, выполняющих фоторецепторную, защитную и антиоксидантную функции, а также соотношение суммарного содержания хлорофиллов и антоцианов в растительных тканях может являться наиболее эффективным показателем физиологического состояния растений, находящихся в стрессовых условиях. Таким образом, исследование состояния пигментной системы растений может быть полезно для оперативной биоиндикации загрязнений при экологическом мониторинге растительных сообществ и сравнительной оценке физиологического состояния зеленых насаждений, подвергающихся воздействию неблагоприятных факторов среды, в частности загрязнений разной интенсивности. Изучение антоцианового пигментного комплекса может быть с успехом применено в биоиндикационных исследованиях и мониторинге состояния окружающей среды.

Гипотеза исследования: химическое загрязнение поллютантами различной природы приводит к повышению уровня антоцианов в растительных тканях.

Исходя из всего вышесказанного, *целью* данного исследования является изучение влияния поллютантов на накопление антоцианов в модельном опыте на проростках ячменя двурядного.

Указанная цель определяет круг взаимосвязанных *задач*, решение которых составляет концептуальную базу настоящей работы. К числу основных из них относятся:

1. Ознакомиться с литературой по теме исследования.
2. Дать подробное описание антоцианового комплекса растений.
3. Выявить основные функции, выполняемые антоцианами.
4. Отработать методику определения антоцианов.
5. Изучить накопление антоцианов в проростках ячменя сорта Вереск под влиянием химического загрязнения.

*Объектом* исследования явилось влияние поллютантов на накопление антоцианов в модельном опыте на проростках ячменя двурядного.

*Предмет* исследования: уровень антоцианов в проростках ячменя двурядного.

*Методология* исследования построена на изучении, анализе и синтезе литературных данных, оценке степени актуальности темы, постановке цели и задачи исследования по изучению влияния поллютантов на накопление антоцианов, сравнительном анализе уровня антоцианов в результате проведенного эксперимента. Были использованы следующие методы анализа: УФ-спектрофотометрия, математические методы анализа и обработки результатов.

В ходе исследования изучены работы отечественных ученых по биологии, биохимии и экологии. Экспериментальные исследования проводились на современном сертифицированном оборудовании в достаточном числе повторностей. Используемые автором аналитические методики информативны и современны.

## 1. Общая характеристика антоцианов

«Антоцианы» (от греч. "ánthos" — цвет и "kúanos" — лазоревый) – природные красящие вещества растений из группы флавоноидов, относятся к гликозидам. Термин «антоциан» впервые введен Марквартом в 1835 г [12].

Строение антоцианов установлено в 1913 немецким биохимиком Р. Вильштеттером, первый химический синтез осуществлен в 1928 английским химиком Р. Робинсоном [14].

Образованию антоцианов благоприятствуют низкая температура, интенсивное освещение, но полностью их биологические функции пока не выяснены. Антоцианы придают цвет лепесткам цветков: коричневую, красную, оранжевую окраску, способствуя тем самым привлечению насекомых-опылителей. Общеизвестный факт активации биосинтеза антоцианов, сопровождающийся деградацией основных фотосинтетических пигментов у растений в условиях стресса, еще не получил глубокого физиолого-биохимического обоснования. Возможно, что антоцианы не несут никакой функциональной нагрузки, а синтезируются как конечный продукт насыщенного флавоноидного пути, получившего вакуолярное ответвление с целью конечного депонирования ненужных растению фенольных соединений. С другой стороны, антоциановая индукция, вызванная определенными факторами окружающей среды, а также предсказуемость появления антоцианинов из года в год в периоды специфических этапов развития листа, их яркая выраженность в особых экологических нишах, возможно, способствуют адаптации растительных организмов к тем или иным стрессовым условиям [7].

Данные пигменты чаще содержатся в клеточном соке (вакуолях), значительно реже – в клеточных оболочках. Могут существовать в различных формах: оксониевом катионе, карбониевом катионе [11].

Больше всего антоцианов накапливают растения в местностях с суровыми климатическими условиями (Арктика, высокогорные луга), а также в составе ранневесенней флоры. Антоцианы поглощают свет в ультрафиолетовой и зеленой областях спектра. Поглощенная энергия частично превращается в тепло, повышая на 1—4°C температуру листьев, пестиков, тычинок. Это создает благоприятные условия, как для фотосинтеза, так и для оплодотворения и прорастания пыльцы в условиях пониженных температур. У высокогорных растений антоцианы, поглощая избыток солнечной радиации, защищают хлорофилл и наследственный аппарат клетки от повреждений. Яркая окраска цветков и плодов играет большую роль в привлечении насекомых-опылителей и в распространении плодов. Интересно, что растения, содержащие большое количество антоциана, обладают повышенной стойкостью к загрязнению воздуха кислыми газами промышленных предприятий [2].

Поступая в организм человека с фруктами и овощами, антоцианы поддерживают нормальное состояние кровяного давления и сосудов, предупреждая внутренние кровоизлияния. Образую комплексы с радиоактивными элементами, антоцианы способствуют быстрому выведению их из организма. Кроме того, эти пигменты способны улучшать зрение.

## 2. Химическое строение

Антоцианы существуют преимущественно в виде гликозидов. Гликозиды — органические соединения, молекулы которых состоят из углеводного остатка и неуглеводного фрагмента. Их агликаны (базовые молекулы-предшественники) – антоцианидины, связаны преимущественно с сахарами. Антоцианы растворимы в воде и содержатся в клеточном соке.

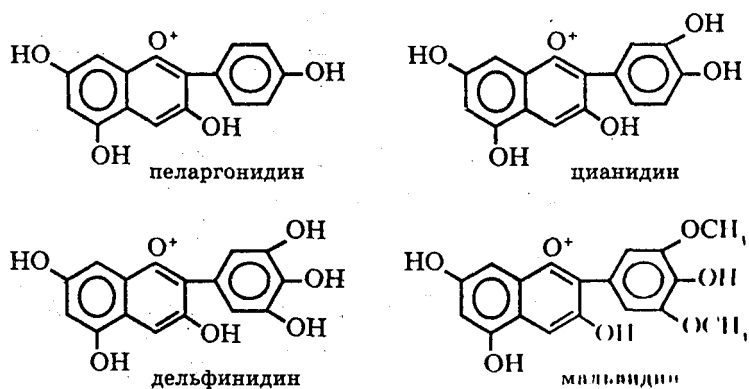


Рисунок 1. Структура антоцианидинов

Особенностью строения антоцианидинов является наличие в гетероциклическом кольце четырехвалентного кислорода (оксония) и свободной положительной валентности [4].

Известно более 500 индивидуальных антоциановых соединений, и число их постоянно растет. Наиболее распространены – четыре соединения: пеларгонидин, цианидин, дельфинидин и мальвидин (метилированное производное дельфинидина).

В качестве моносахаридов в антоцианах встречаются глюкоза, галактоза, рамноза, ксилоза, реже арабиноза, а в качестве дисахаридов — чаще всего рутиноза, софороза, самбубиоза. Иногда антоцианы содержат трисахариды, обычно разветвленные. Например, в ягодах смородины и малины найден антоциан, в котором с цианидином связан разветвленный трисахарид [4].

Свободные основания антоцианов и антоцианидов окрашены в фиолетовый цвет. Красная, синяя и фиолетовая окраска некоторых цветов и ягод может вызываться наличием одного и того же типа антоцианидина в зависимости от реакции клеточного сока. В синих частях растений – в виде калиевой или иной щелочной соли, в фиолетовой - в виде основания красящего вещества или внутренней соли, а в красных – в виде оксониевых солей органической (например, щавелевой) кислоты [6].

### 3. Распространение в природе

Группа флавоноидных соединений вносит наибольший вклад в разнообразие оттенков цветов у растений. К данной группе относятся желтые ауруны, халконы и флавонолы, а также антоцианы, которые окрашивают растения в розовые, красные, оранжевые, алые, пурпурные, голубые, темно-синие цвета [12]. Как правило, качественный состав антоцианов специфичен и стабилен для конкретного вида растений. Однако он зависит от особенностей сорта и условий произрастания. Чаще всего встречаются следующие антоцианидины (агликоны): цианидин, пеларгонидин, дельфинидин, пеонидин, петунидин, мальвидин.

Антоцианы содержатся почти во всех растительных тканях в разных частях растений. Во фруктах и овощах антоцианы находятся, прежде всего, в эпидермальном слое. Наиболее подробно исследовано распространение антоцианов в цветках, листьях и плодах. Часто окраска антоцианидина в листьях маскируется хлорофиллом. У некоторых сортов вишен, черешен, винограда они есть только в эпидермисе, у других — и в мякоти, причем в эпидермисе их больше [1].

Обычно в венчиках растений содержатся и антоцианы, и флавоны, и флавонолы. Флавоны и флавонолы интенсивно поглощают ультрафиолет. Поэтому особенно богаты этими пигментами цветки и листья тропических и высокогорных растений. Установлено, что, поглощая

ультрафиолетовые лучи, флавоны, флавонолы и антоцианы предохраняют хлорофилл и цитоплазму клеток от разрушения [8].

#### 4. Функции антоцианов

С помощью зеленого пигмента хлорофилла в растениях осуществляется фотосинтез. В составе солнечного спектра есть и невидимые ультрафиолетовые лучи. Они существенно влияют на все живые организмы. От вредного избыточного УФ излучения человека и животных защищают меланины, а растения – антоцианы.

У горных растений в процессе эволюции возникли защитные механизмы в виде сопутствующих хлорофиллу пигментов – антоцианов и каротиноидов. Они поглощают избыточную солнечную радиацию и превращают ее в тепло, что создает более благоприятные условия и для фотосинтеза, и для оплодотворения и прорастания пыльцы в условиях пониженных температур. Не случайно высокогорные растения содержат в листьях больше антоцианов, чем растения долин [13].

Антоциановые формы культурных растений часто обладают ценными хозяйственно-биологическими признаками: качество продукции, скороспелость, устойчивость к стрессам, болезням и вредителям. Антоцианы играют значительную роль в пассивном и активном иммунитете растений к болезням. Также антоцианы содержатся в лепестках, пестиках, тычинках, незрелых плодах и листьях многих растений, имеют горький вкус и, тем самым, защищают растение от поедания фитофагами.

Яркая сочная окраска цветков способствует привлечению растениями насекомых-опылителей. Антоцианы в больших количествах присутствуют в цветках дельфиниума, флоксов, темно-красных роз, ирисов, их можно найти в лиловых и синих цветках хосты. У медуницы (как и у других бурачниковых) кислотность меняется в самом цветке, что можно отследить по изменению окраски лепестков: бутоны и только что распустившиеся цветки имеют нежно-розовую окраску, тогда как с возрастом становятся фиолетовыми и голубыми. Это свойство помогает опылителям разыскивать еще не опыленные цветки. Старые цветки медуницы пчелы уже не посещают: они, как правило, опылены и нектара не содержат. И в этом случае смена окраски служит сигналом для насекомых. Окраска большинства цветков определяется присутствием также и каротиноидов, растворимых в жирах соединений: каротин, его изомеры и производные. В растворе все они имеют бледно-желтую, оранжевую или светло-красную окраску [2].

Установлено, что образованию антоцианов способствуют высокое содержание сахаров в растительных тканях, низкая температура и интенсивное освещение. Увеличение содержания сахаров в осенних листьях происходит за счет гидролиза крахмала. Это имеет значение для транспортировки ценных питательных веществ из отмирающих листьев во внутренние части растений. Ведь сам крахмал нетранспортабелен в растении. Однако скорость оттока образующихся в результате его гидролиза сахаров из листьев при низких температурах невелика. Кроме того, при падении температуры ослабляется дыхание растений и, следовательно, лишь незначительное количество сахаров подвергается окислению. Все эти факторы благоприятствуют накоплению в растительных тканях сахаров, которые начинают использоваться в синтезе других веществ, в частности антоцианов.

#### 5. Характеристика объекта исследования

*Hordeum distichum* (Ячмень двурядный), однолетнее растение семейства Злаковые. Корневая система мочковатая, состоящая из первичных (зародышевых) и вторичных (узловых)

корней. Зерновка прорастает 3-8 зародышевыми корешками. В сравнении с другими хлебами корневая система ячменя менее развита.

Стебель — соломина из 4-7 междоузлий и узлов, высота его в зависимости от сорта и условий от 0,5 до 1,4 м. Устойчивость к полеганию невысокая.

Лист состоит из влагалища и неопушенной сизо-зеленой пластинки длиной 8-15 см, шириной 0,4-1,0 см.

Соцветие — остистый колос, состоящий из коленчатого плоского стержня, на уступах которого расположено по три одноцветковых колоска. В зависимости от степени их развития в пределах вида различают ячмень двурядный (*ssp. distichum* L.), многорядный (*ssp. vulgare* L.) и промежуточный (*ssp. intermedium* Vav. et Orl.). У многорядного зерновка образуется в каждом из трех колосков, у двурядного — только в среднем; у промежуточного число плодущих колосков на одном уступе меняется в пределах колоса. Колосья могут быть плотными или рыхлыми, по окраске — желтыми или черными.

Колосок из узких, почти линейных, переходящих в остевидное заострение колосковых чешуи, между которыми расположен один цветок. Плодущий цветок состоит из двух цветковых чешуи, у пленчатых форм они срастаются с зерновкой. Имеются и голозерные ячмени, у которых срастание не происходит. Наружная цветковая чешуя имеет ясно выраженный выпуклый средний нерв и длинную гладкую или зазубренную ость. Вместо обычных остей у некоторых разновидностей могут быть трехлопастные придатки — фурки (фуркатные ячмени). Внутренняя цветковая чешуя двухкилевой формы, у ее основания в глубине бороздки расположена щетинка. У двурядного ячменя щетинка чаще длинноволо-систая, у многорядного — войлочная. В остальном строение цветка ячменя такое же, как у пшеницы и ржи. Ячмень относится к строгим самоопылителям.

Плод — пленчатая или голая зерновка, длиной 7-10 и толщиной 2-3 мм, эллиптическая, удлинённая, заостренная к двум концам, без хохолка, с гладкой или слабоморщинистой поверхностью. Зерновки пленчатых форм желтые или черные, голозерных — желтые, оранжевые, зеленые, фиолетовые, коричневые или черные.

Сорт Вереск характеризуется устойчивостью к ионам  $Al^{3+}$  на кислых почвах.

## **6. Влияние поллютантов на накопление антоцианов в модельном опыте на проростках ячменя**

Серия опытов была проведена на проростках ячменя сорта Вереск в лабораторных условиях. Растения выращивали в трёх емкостях:

1. На водной культуре;
2. На водной культуре с добавлением поллютантов – водная эмульсия нефти – 0,1 г/л;
3. На водной культуре с последующим после проращивания поливом водным раствором с добавлением поллютантов (нефть в концентрации 0,1 г/л).

### **Методика определения антоцианов**

Определение антоцианов проводили по методике Муравьевой (спектрофотометрическое определение суммы антоцианов в проростках ячменя двурядного) [10]. Навеску растительного материала массой 0,35 г гомогенизировали в 20 мл 1% раствора соляной кислоты и выдерживали на водяной бане при 40 – 45 °С в течение 20 мин. Полученный гомогенат фильтровали, измеряли оптическую плотность фильтрата при длинах волны 510 и 657 нм на Spекol в кювете с толщиной слоя 10 мм. В качестве раствора сравнения применяли 1% водный раствор соляной кислоты. Определения содержания антоцианов выполнены в четырехкратной биологической повторности.

Таблица 1. – Влияние поллютантов на накопление антоцианов

<b>Вариант</b>	<b>Концентрация суммы антоцианов, %</b>
Контроль	0,0410±0,0013*
Проращивание семян в водной культуре с добавлением поллютантов	0,0801±0,0079*
Полив проростков водным раствором с добавлением поллютантов	0,0676±0,0069*

\*– Различия достоверны при  $P \geq 0.95$

В ходе эксперимента, было установлено, что поллютанты вызывают повышение уровня антоцианов в растительных тканях. В присутствии нефти при проращивании содержание антоцианов в листьях растений увеличивалось практически в 2 раза, полив растений после проращивания раствором нефти вызывал достоверное возрастание уровня вакуолярных пигментов в 1,5 раза по сравнению с контролем. Накопление антоцианов в растительных тканях является ответной реакцией и направлено на адаптацию к действию неблагоприятных факторов.



## **Заключение**

Исследование биосинтеза антоцианов в растительных тканях позволяет определить пути адаптации растений к неблагоприятным условиям среды и понять физиолого-биохимические механизмы их устойчивости. Поэтому исследование накопления антоцианов в комплексе с ростовыми процессами под действием экологических факторов (свет, минеральное питание, температура, поллютанты) имеет большое теоретическое и практическое значение.

Изучение состояния пигментной системы растений может быть полезно для оперативной биоиндикации загрязнений при экологическом мониторинге растительных сообществ и сравнительной оценке физиологического состояния зеленых насаждений, подвергающихся воздействию неблагоприятных факторов среды, в частности нефтяных загрязнений разной интенсивности. При этом разные растения могут реагировать по-разному. В перспективе растения, обладающие высоким уровнем антоциановых пигментов, могут быть использованы для генно-инженерного конструирования растений с высокой адаптивной и иммунной способностью. Эндогенный уровень антоциановых пигментов может являться эффективным показателем физиологического состояния клеток растительных организмов, тканей и растительных экосистем в целом. Использование методов дистанционного зондирования растительности, основанных на изменениях оптических свойств тканей, обусловленных накоплением антоцианов в растениях, находящихся в условиях стресса, позволяет более успешно прогнозировать изменение характеристик отдельных звеньев экологической системы и на основании этого предсказывать дальнейшую эволюцию экосистемы во времени.

### Библиографический список

1. Антоцианы как тест на нефтяное загрязнение [Текст] / Масленников П. В., Бородей А. В. // 11 Международный симпозиум по биоиндикаторам "Современные проблемы биоиндикации и биомониторинга". – Сыктывкар. – 2001.
2. Артамонов, В. И. Занимательная физиология растений / В. И. Артамонов. – М.: Агропромиздат. – 1991.
3. Ашихмина, Т. Я. Растительные фенолы и здоровье человека [Текст] / Т. Я. Ашихмина, В. А. Барабай. – М.: Наука. – 1984.
4. Бриттон, Н. А. Биохимия природных пигментов [Текст] / Н. А. Бриттон. – М.: Мир, 1986.
5. Золотов Ю.А. Основы аналитической химии. Методы химического анализа /Ю.А. Золотов. – М.: Высшая школа, 2002.
6. Красильникова, Л. А. Биохимия растений [Текст] / Л. А. Красильникова, О. А. Аксентьева, В. В. Жмурко. – Ростов: Феникс. – 2004.
7. Лебедева, Т. С. Пигменты растительного мира [Текст] / Т. С. Лебедева, К. М. Сытник. – Киев: Наукова думка. – 1986.
8. Макаревич С. П., Дейнека В.И., Дейнека Л.А., Сорокопудов В.Н. Влияние строения антоцианов на их антиоксидантную активность // Научные ведомости БелГУ. Сер. Медицина и фармация. -2014. – №24 (195) – вып. 28.
9. Масленников П. В. Экологические аспекты накопления антоциановых пигментов в растениях // <https://www.dissercat.com/content/ekologicheskie-aspekty-nakopleniya-antotsianovykh-pigmentov-v-rasteniyakh>.
10. Муравьева Д.А., Бубенчикова В.Н., Беликов В.В. Спектрофотометрическое определение суммы антоцианов в цветках василька синего // Фармакология. – 1987.
11. Танчев, С.С. Антоцианы в плодах и овощах [Текст] / С. С. Танчев. – М.: Пищевая промышленность. – 1980.
12. Тедеева М. Е. Антоцианы // <https://foodandhealth.ru/komponenty-pitaniya/antociany/http://foodandhealth.ru/komponenty-pitaniya/antociany>. – 2020
13. Шоева О. Ю. Антоцианы: секреты цвета // Химия и жизнь. – №1. – 2013 // [http://elementy.ru/nauchno-populyarnaya\\_biblioteka/431905](http://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/431905)
14. Шоева О. Ю. Разноцветные «чудеса» науки // <https://biomolecula.ru/articles/raznotsvetnye-chudesas-nauki>. – 2012.

## РЕЦЕНЗИЯ

на научно-исследовательскую работу  
Чертовой Алисы Дмитриевны на тему: «Действие загрязняющих веществ на  
накопление антоцианов в растительных тканях».  
(научный руководитель- учитель биологии Хлапушина К.Б.)

Научно-исследовательская работа Чертовой Алисы Дмитриевны посвящена актуальной, с точки зрения биологии, проблеме –действию загрязняющих веществ на накопление антоцианов в растительных тканях.

Используя широкий спектр научной литературы, Алиса Дмитриевна, изучила перспективы исследования состояния пигментной системы растений для последующей оперативной биоиндикации загрязнений при экологическом мониторинге растительных сообществ и сравнительной оценке физиологического состояния зеленых насаждений, подвергающихся воздействию неблагоприятных факторов среды, в частности загрязнений разной интенсивности.

Экспериментальная часть исследования представляет собой полностью самостоятельную работу автора и посвящена изучению влияния поллютантов на накопление антоцианов в модельном опыте на проростках ячменя двурядного.

Диагностическая методика, используемая автором, является научной и общепризнанной. Результаты эксперимента представлены достаточно полно и наглядно. Для представления результатов исследовательской работы используются таблицы.

Стиль изложения материалов исследовательской работы Чертовой А.Д. научный. Работа имеет законченный характер и соответствует требованиям, предъявляемым к работам данного вида.

Рецензент:  
учитель биологии МБОУ ЛСТУ № 2

К.Б. Хлапушина