

**Конкурс исследовательских работ «Свет познания —
весна 2026»**

Секция экологии

**Определение количественного содержания
фотосинтетических компонентов растений
спектрофотометрическим методом**

Исследовательская работа

**Вепринцева Софья Романовна
обучающаяся 10 класса МБОУ-лицея №2
имени Б.А. Слободскова
города Тулы
Научный руководитель -
Принц Елена Владимировна,
преподаватель химии**

Тула, 2026 год.

Содержание	
Введение.....	3
1.ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ГРУППЫ РАСТЕНИЙ. КЛАССИФИКАЦИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ РАСТЕНИЙ.	5
1.1. Экологическая группа растений – ксерофиты.	5
1.2. Экологическая группа растений – мезофиты.....	7
1.3. Экологическая группа растений – гидрофиты.....	8
1.4. Фотосинтетический пигмент – хлорофилл.	9
1.5. Каротиноиды.	11
2.ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	13
2.1. Определение фотосинтезирующих компонентов растений разных экологических групп спектрофотометрическим методом:	13
2.2. Анализ полученных данных:	15
3. Заключение	16
Список источников и литературы	16

Введение

В современных условиях, когда экологические проблемы становятся всё более актуальными, изучение механизмов фотосинтеза приобретает особую значимость. Пигменты растений выступают не только как ключевые участники процесса преобразования энергии, но и как индикаторы состояния растений, чутко реагирующие на любые изменения внешней среды.

Спектрофотометрический метод анализа содержания фотосинтетических компонентов представляет собой современный и точный способ исследования, позволяющий получить количественные характеристики содержания хлорофиллов и каротиноидов в растительных тканях. Этот метод открывает широкие возможности для мониторинга состояния растений, оценки их адаптационных способностей и реакции на различные факторы.

Актуальность исследования заключается в том, что в настоящее время любая работа в области фотосинтеза требует детальной характеристики пигментных систем. Это необходимо при проведении специальных исследований метаболизма пигментов, изучении влияний различных условий на развитие и фотосинтетическую продуктивность растений. Оценка содержания фотосинтетических пигментов важна также в работах, связанных с изучением механизма фотосинтеза, где все расчеты активности исследуемых реакций ведут на единицу хлорофилла

Объект исследования – растения разных экологических групп.

Предмет исследования – хлорофилл a,b и каротиноиды в растениях

Цель работы: изучить содержание хлорофиллов a, b и каротиноидов в образцах растений различных экологических групп

Гипотеза заключается в предположении, что количественное содержание хлорофиллов и каротиноидов в растениях зависит от их жизненной формы, экологических условий, в которых они обитают и инсоляции.

Цель и гипотеза данного исследования определили следующие **задачи**:

1. Систематизировать сведения об экологических группах растений, использующихся в качестве образцов для эксперимента, о классификации и физико-химических свойствах пигментов;
2. Провести определение содержания пигментов в спиртовой вытяжке на спектрофотометре;
3. Рассчитать содержание пигментов по показателям оптической плотности;
5. Выявить различия в количественном содержании пигментов различных растений и сделать вывод

При выполнении работы были выполнены следующие методы исследования:

1. Теоретические (анализ литературы для составления работы)
2. Экспериментальные (проведение практического исследования)
3. Аналитические (сравнение полученных результатов, анализ данных)

1. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ГРУППЫ РАСТЕНИЙ. КЛАССИФИКАЦИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ РАСТЕНИЙ.

По отношению к различным факторам окружающей среды растения делят на экологические группы, для каждой из которых характерны соответствующий тип строения и структура стебля. По отношению к воде выделяют следующие экологические группы растений: гигрофиты, гидрофиты, гидатофиты, ксерофиты, мезофиты. В данной исследовательской работе объектами изучения являются ксерофиты, мезофиты и гидрофиты.

Фотосинтетические пигменты – это органические вещества, способные улавливать и поглощать энергию света, участвуя в процессе фотосинтеза. К фотосинтетическим компонентам растений относятся хлорофилл, каротиноиды и фикобилины (пигменты красных водорослей и цианобактерий).

1.1. Экологическая группа растений – ксерофиты.

Ксерофиты — растения сухих мест обитания, способные переносить продолжительную засуху и воздействие высоких температур. Ксерофиты составляют типичную флору пустынь и полупустынь, обычны на морском побережье и в песчаных дюнах. Неблагоприятный водный режим этих растений обусловлен недостатком воды в почве и увеличением расхода влаги на транспирацию при большой сухости воздуха и высоких температурах.

Представители: полынь, саксаул, верблюжья колючка, бодяк, ковыль, чертополох, типчак, агава, алоэ, очиток.

Комплекс морфологических, анатомических и физиологических признаков, возникающих у растений как приспособление к засушливым условиям обитания, называется **ксероморфизмом**.

Ксероморфизм:

1. Густая сеть жилок;
2. Большое число устьиц;
3. Толстая кутикула;
4. Мелколистность или редукция листьев, колючки;
5. Восковой налет на листьях и стеблях;
6. Сильное развитие механической и водозапасающей ткани;
7. Обширная система корневидных;

К группе ксерофитов относятся **суккуленты** – растения с сочными мясистыми листьями или стеблями, имеющими хорошо развитую водоносную ткань, в которой они накапливают большое количество влаги. В зависимости от расположения водоносной ткани различают **листовые суккуленты** (агавы, алоэ) и **стеблевые**, у которых листья редуцированы, а надземные части представлены мясистыми стеблями (кактусы, некоторые молочаи и др.). Все вышеперечисленное способствует снижению транспирации. Также к группе ксерофитов относятся **склерофиты**. Эти растения внешне отличаются от суккулентов. Склерофиты внешне сухие, их листья и стебли не содержат запаса воды, и снаружи покрыты густым опушением.

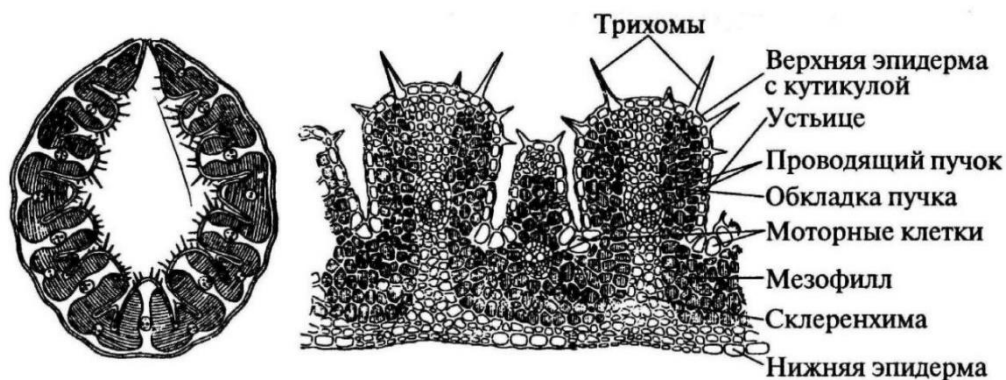


Рис.1. – Строение листа ксерофита (ковыля перистого)

1.2. Экологическая группа растений – мезофиты.

Мезофиты – растения, произрастающие в условиях умеренного увлажнения. Это растения лугов, травяного покрова лесов, лиственные древесные и кустарниковые породы из областей умеренно влажного климата, а также большинство культурных растений

Мезофиты требуют более или менее непрерывного водоснабжения в период вегетации. К непродолжительным периодам засушливой погоды большинство мезофитов легко адаптируются, но повторяющиеся засушливые циклы и длительные периоды обезвоживания могут привести к увяданию и гибели растений. У этой экологической группы нет специфической морфологической адаптации, однако они имеют хорошо развитую корневую систему с ветвящимися корнями, широкие, плоские листья разной формы с большим числом устьиц на нижней стороне листа с тонкой кутикулой.

Характерные особенности мезофитов:

1. Широкие, плоские и зелёные листья разнообразной формы. Лист тонкий, иногда с большим числом устьиц на нижних сторонах листьев, с тонкой кутикулой, волоски на листьях редкие или отсутствуют;

2. Хорошо развитая корневая система с ветвящимися корнями;

3. Дифференцировка тканей в листе на более или менее плотную палисадную паренхиму и рыхлую губчатую паренхиму с системой межклетников (см. рис.2);

4. Негустая сеть жилок.

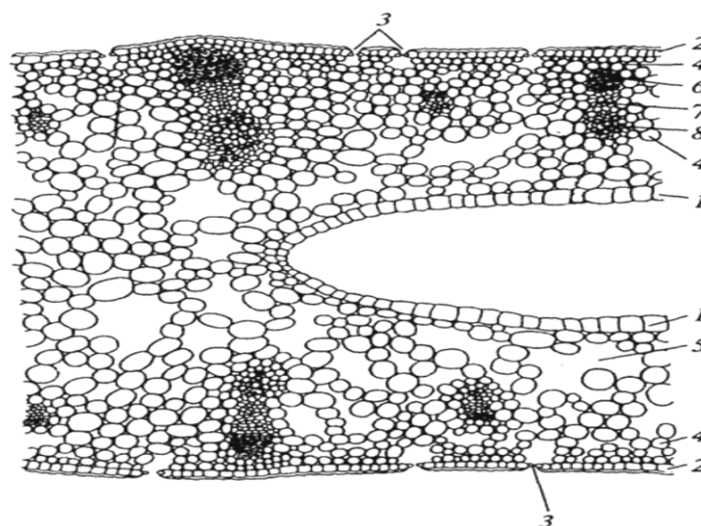


Рис 2. – Строение листа мезофита

1.3. Экологическая группа растений – гидрофиты.

Гидрофиты – водно-надземные растения, прикрепленные к почве. Они начинают свое индивидуальное развитие и ежегодное возобновление побегов будучи погруженными в воду, в процессе роста верхние части побегов выступают над поверхностью воды. Гидрофиты обитают в прибрежьях водоемов, но могут жить и на обильно увлажненной почве вдали от водоема.

Гидрофиты входят в группу водных растений, но в отличие от гидатофитов имеют ясно выраженные механические ткани и водопроводящую систему. Обычно у них хорошо развита система межклетников и воздушных полостей, по которым воздух, поступающий через устьица, проникает в нижние части растения, скрытые в водном субстрате. Погруженные гидрофиты обладают хорошей плавучестью, создаваемой специальными приспособлениями (воздушные мешки и вздутия)

Особенности строения гидрофитов:

1. Увеличенная поверхность тела;
2. Слабое развитие корневой системы;

3. Недоразвитые механические ткани;
4. Наличие воздухоносных полостей – аэренхима (см. рис.3);
5. Разнолистность (гетерофиллия).

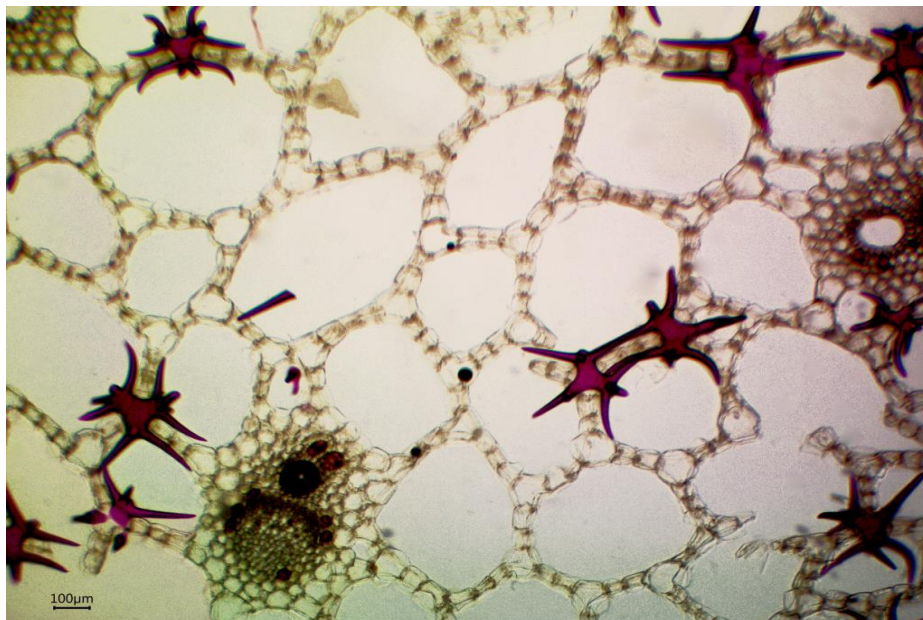


Рис.3 - Цветонос гидрофита кубышки жёлтой (*Nuphar lutea*)

1.4. Фотосинтетический пигмент – хлорофилл.

Хлорофилл — это сложный пигмент, содержащийся в хлоропластах растений, водорослей и некоторых бактерий. Его главная биологическая роль: поглощать солнечный свет и преобразовывать его энергию в химическую в процессе фотосинтеза.

Спектр поглощения хлорофиллов указывает на максимумы поглощения в красном и сине-фиолетовом участках спектра и не совпадает со спектром излучения Солнца. Солнечный свет имеет максимум при 550 нм, где хлорофиллы а и b не поглощают излучение, в связи с этим листья имеют зелёный цвет, т.к. этот диапазон длин волн отражается или пропускается ими.

Хлорофилл а ($C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$) – самая распространённая форма хлорофилла в природе, основной пигмент фотосинтеза. Хлорофилл а входит в состав светособирающих комплексов всех кислородных растений. Пигмент

поглощает большую часть длины волны, присутствующей в сине-фиолетовой и оранжево-красной части света, и отражает желто-зеленый свет.

Хлорофилл b ($C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$) – второй по распространённости пигмент в окислительных фотосинтезирующих организмах. Хлорофилл b локализован в светособирающих комплексах и не встречается в реакционных центрах фотосистем. Энергия, поглощённая молекулой хлорофилла b, с высокой эффективностью передаётся молекуле хлорофилла a. Хлорофилл b отличается от хлорофилла a тем, что у него ко второму пиррольному кольцу присоединена не метильная, а альдегидная группа (см. рис.4). Растения с помощью хлорофилла b эффективнее используют энергию света.

Соотношение хлорофиллов a и b при повышении интенсивности света увеличивается, а при понижении — уменьшается. Эти сдвиги отражают адаптационные возможности пигментной системы при меняющихся световых условиях.

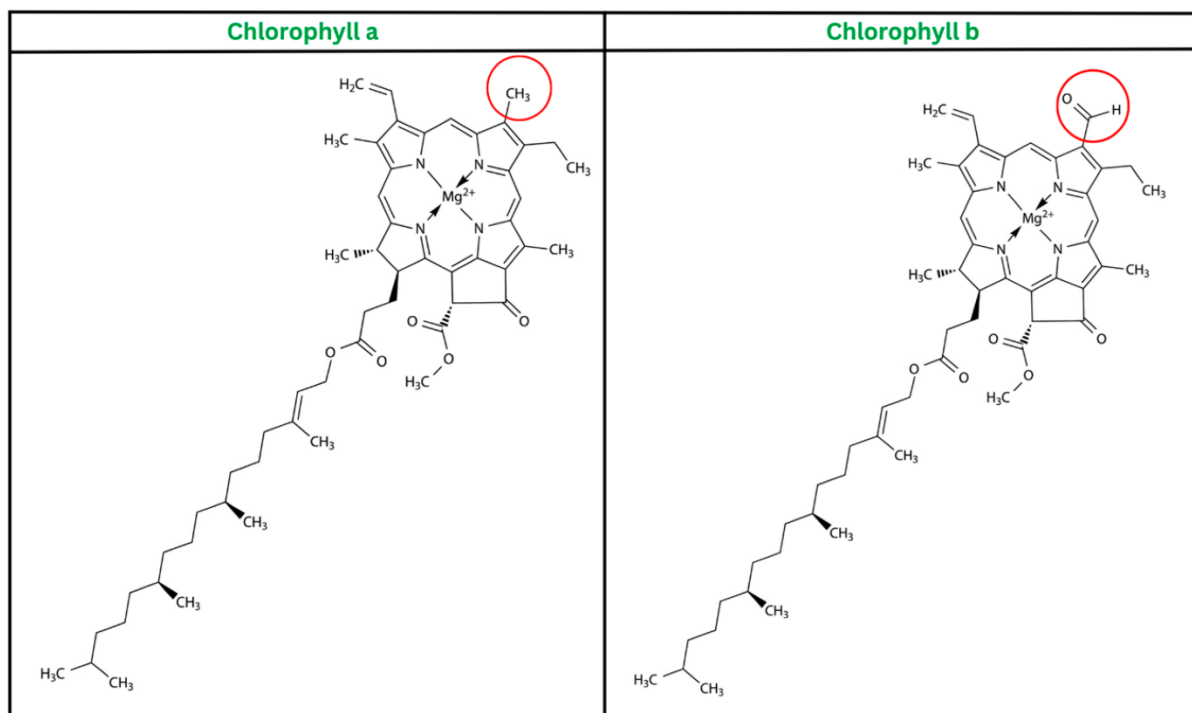


Рис.4 – Хлорофилл a и b

1.5. Каротиноиды.

Каротиноиды — природные органические пигменты, окрашенные в жёлтый, оранжевый или красный цвета. Их углеводородная структура состоит из цепи двух или более изопренов.

К общим свойствам каротиноидов можно отнести их нерастворимость в воде и хорошую растворимость во многих органических растворителях. Растворы каротиноидов в органических растворителях при спектрофотометрических исследованиях дают характеристические полосы поглощения в основном в видимой области спектра. Каротиноиды в чистом виде характеризуются высокой лабильностью — они весьма чувствительны к воздействию солнечного света, кислорода воздуха, нагреванию, воздействию кислот и щелочей. Под воздействием этих неблагоприятных факторов они подвергаются окислению и разрушению.

В зависимости от степени поглощения каротиноиды разделяются на 2 группы: каротины и ксантофилы. Каротины не содержат атомов кислорода, являются чистыми углеводородами и обычно имеют оранжевый цвет. Наиболее известный представитель этой группы — β -каротин (см. рис.5). Каротиноиды, окрашенные в цвета от желтого до красного характеризуются наличием кислородсодержащих функциональных групп и называются ксантофилами. Каротиноиды в зеленых листьях составляют примерно 0,07 — 0,2% при расчете на сухую массу листьев.

Каротиноиды:

1.Поглощают свет в диапазонах, плохо поглощаемых хлорофиллом, и передают энергию на молекулы хлорофилла, тем самым повышая эффективность фотосинтеза;

2.Улавливают энергию синего и зелёного света, который хлорофилл почти не поглощает, и передают её в фотосистемы, расширяя диапазон спектра, доступного для поглощения;

3. Придаёт окраску некоторым цветкам, плодам, корням, а также осенней листве растений;

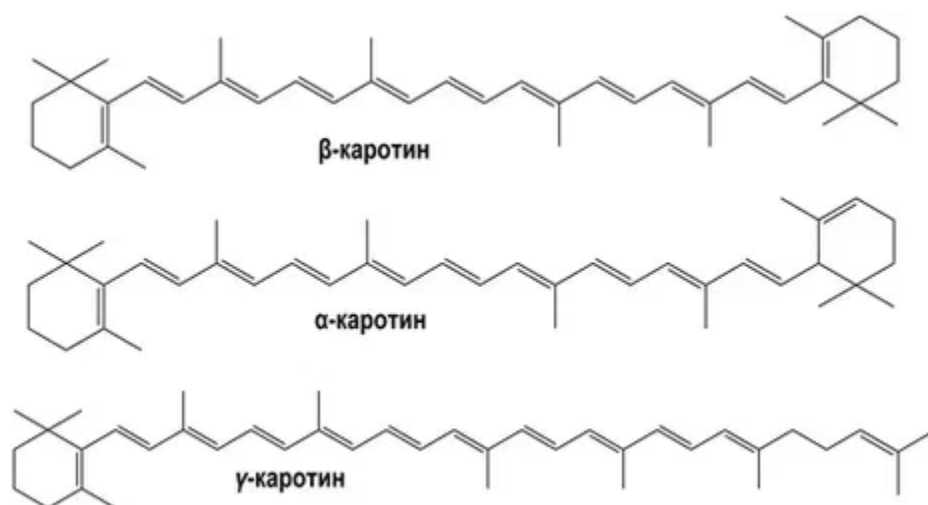


Рис.5 – Представители каротиноидов - каротины

2.ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

2.1. Определение фотосинтезирующих компонентов растений разных экологических групп спектрофотометрическим методом:

Объект исследования: представители трёх экологических групп:

Ксерофиты: типчак, полынь горькая

Мезофиты: клевер, клён

Гидрофиты: многокоренник, роголистник

Определение фотосинтезирующих компонентов растений спектрофотометрическим методом. Этот метод основывается на способности растительных пигментов взаимодействовать с излучением, поглощая его. Когда падающий на образец свет проходит через него, некоторая его часть поглощается веществом, а оставшаяся часть проходит сквозь образец. Величина поглощения света зависит от концентрации анализируемого вещества и его спектральных свойств. Измеряя снижение интенсивности излучения, можно определить количество частиц поглощающего вещества и, следовательно, его концентрацию.

Оборудование:

Весы, ступки с пестиками, 96%-ный раствор этилового спирта, колбы мерные на 25 мл, воронки, фильтры, спектрофотометр.

Проведение опыта на определение фотосинтезирующих компонентов растений:

1. Навеску 100 мг свежих листьев каждого вида растения растереть в фарфоровой ступке, заливая 15 мл 96%-ного раствора этилового спирта и отфильтровать в мерные колбы на 25 мл, доводя объём до метки добавлением 96%-ного спирта.

2. Провести определение содержания пигментов в спиртовой вытяжке на спектрофотометре в двукратной повторности с использованием кювет с

толщиной 1 см. Поглощение (A – оптическая плотность) снимать при следующих значениях длины волны: 665 нм, 649 нм, 470 нм.

3. Содержание пигментов рассчитать по формуле Lichtentaller et al:

Хлорофилл a $C = 13,95 \cdot A_{665} - 6,88 \cdot A_{649}$

Хлорофилл b $C = 24,96 \cdot A_{649} - 7,32 \cdot A_{665}$

Каротиноиды $C = \frac{1000 \cdot A_{470} - 2,05 \cdot A_{665} - 114,8 \cdot A_{649}}{245}$

4. Количество пигментов оценить в мг на 1 г сырой массы с использованием следующей формулы:

$F = (C \cdot V) / (1000 \cdot m)$, где

F – масса пигмента в 1 г сырой массы листвы, мг/г;

C – концентрация пигмента, мг/мл;

V – объём вытяжки, мл;

m – масса навески листьев, г.

Промежуточные данные и рассчитанные величины внести в таблицу 1.

5. Выявить различия в количественном содержании пигментов в листьях растений различных экологических групп, отразив их в выводе.

2.2. Анализ полученных данных:

Таблица 1

Представитель и	A ₄₇₀	A ₆₄₉	A ₆₆₅	F _{хл.а} , мг/г	F _{хл.б} , мг/г	F _{кар.} ,мг/ г	F _а /F _б	Сумма хлорофил- лов, мг/г
Типчак	0,032	0,01	0,033	0,0979	0,002	0,0314	48,95	0,0999
Полынь горькая	0,016	0,006	0,019	0,0559	0,0027	0,0156	20,7037	0,0586
Клевер	0,150	0,112	0,229	0,606	0,2798	0,1395	2,1658	0,8858
Клён	0,222	0,05	0,131	0,3709	0,0723	0,2204	5,13	0,4432
Многокорен- ник	0,064	0,033	0,071	0,1909	0,0837	0,0613	2,2808	0,2746
Роголистник	0,05	0,022	0,054	0,1505	0,033	0,0097	4,5606	0,1835

Из проведенного анализа можно сделать следующие **выводы**:

- В ксерофитах наблюдается высокое соотношение между хлорофиллами а и б из-за их приспособленности к высокой инсоляции;
- Для мезофитов и гидрофитов характерно большее содержание растительных пигментов по сравнению с ксерофитами из-за приспособленности к затенённости;
- Наименьшее содержание растительных пигментов также принадлежит ксерофитам, несмотря на высокую освещённость их ареала;
- Травянистые растения (клевер) содержат больше хлорофилла, чем древесные формы (клён);

3. Заключение

В результате изучения информации о пигментной системе растений можно сделать несколько ключевых выводов. Растительные пигменты играют важную роль в жизнедеятельности растений. Они участвуют в фотосинтезе, защищают растения от повреждений, придают окраску органам и тканям.

В результате эксперимента выяснилось, что растения разных экологических групп существенно различаются по содержанию пигментов, разница присутствует даже в пределах одной экологической группы по причине различной инсоляции и жизненных форм растений.

Список источников и литературы

- 1) Listenable, K. and Welburn, A.R. (1983) Determination of Total Carotenoids and Chlorophylls A and B of Leaf Extracts in Different Solvents. Biochemical Society Transactions, 11, 591-592.
- 2) Березина, Н.А. Экология растений: Учеб. пособие для студ. высш. учеб.заведений / Н.А. Березина, Н.Б. Афанасьева. М: Издательский центр «Академия», 2009. 400 с.
- 3) Серебряков, И. Г. Экологическая морфология растений / И. Г.Серебряков. М. : Высшая школа. 1962. 378 с.
- 4) Бриттон Г. Биохимия природных пигментов. — Москва: Мир, 1986. — 422 с. — 3050 экз.
- 5) Желнин Ю.Ю., Лихопуд Э.В. «Пигменты листа. Их свойства и значение.», Ж. «Биология в школе», № 4, с. 42-43, 2006 г.