

---

---

# БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

---

УДК 581.1

*В. В. Нохсоров<sup>1</sup>, К. А. Петров<sup>2</sup>*

## **Сравнительное исследование фонда зеленых и желтых пигментов в листьях кормовых растений криолитозоны Якутии**

<sup>1</sup>Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, Якутск, Россия

<sup>2</sup>Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

Аннотация. Целью данного исследования явилось сравнительное исследование фотосинтетических пигментов кормовых растений, произрастающих в Центральной Якутии. С помощью физико-химических методов (тонкослойной хроматографии, спектрофотометрии) выделены и определены состав и содержание фотосинтетических пигментов (хлорофиллы а и b, каротиноидов) из зеленых листьев некоторых кормовых растений. Установлено, что содержание желтых пигментов-каротиноидов было высоким у тех кормовых трав, у которых было обнаружено высокое абсолютное содержание (мг/г) зеленых пигментов. Выявлено, что криокорм (криокорм – консервированная невозвратным естественным холодом криолитозоны Севера зеленая масса, посевных холодоустойчивых кормовых растений) из *Avena sativa* L. (овса посевного) имеет наиболее высокую кормовую ценность по отношению к фотосинтетическим пигментам (1,5–2 раза), чем растения, произрастающие в естественных природных условиях. По нашему мнению, ключевую роль в жизнедеятельности животных в условиях экстремальных низких температур окружающей среды играют богатые энергией биологически активные вещества (лютеин и  $\beta$ -каротин) кормовых растений Якутии, синтезируемые в осенний период в ходе холодого закаливания. Кроме того, лютеин является одним из физиологически активных веществ, входящих в состав коровьего молока.

---

*НОХСОРОВ Василий Васильевич* – к. б. н., доцент Института естественных наук СВФУ им. М.К. Аммосова.

E-mail: vv.nokhsorov@s-vfu.ru

*NOKHSOROV Vasily Vasilevich* – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University.

*ПЕТРОВ Клим Алексеевич* – д. б. н., ведущий научный сотрудник Института биологических проблем криолитозоны СО РАН.

E-mail: kap\_75@bk.ru

*PETROV Klim Alekseevich* – Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher at the Institute for Biological Problems of Cryolithozone of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.

*Ключевые слова:* кормовые растения, фотосинтетические пигменты, хлорофилл а и b, каротиноиды, криолитозона, лютеин, β-каротин.

**DOI**

*Работа поддержана Грантом Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук и докторов наук Российской Федерации (МК-1000.2021.5).*

*V. V. Nokhsorov<sup>1</sup>, K. A. Petrov<sup>2</sup>*

## **Comparative study of the content of green and yellow pigments in the leaves of forage plants in the cryolithozone of Yakutia**

<sup>1</sup>M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

<sup>2</sup>Institute for Biological Problems of the Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russia

**Abstract.** The aim of the study was a comparative study of photosynthetic pigments of fodder plants growing in Central Yakutia. **Methods.** Using thin layer chromatography and spectrophotometry, the composition and content of photosynthetic pigments (chlorophylls a and b, carotenoids) from green leaves of some fodder plants were isolated and determined. It was found that the content of carotenoids was high in those forage grasses that had a high absolute content (mg/g) of green pigments. It was revealed that cryo-feed (cryo-feed - green mass of cultivated cold-resistant forage plants preserved by the irrecoverable natural cold of the cryolithozone of the North) from oats has the highest feed value in relation to photosynthetic pigments (1.5–2 times) than plants growing in natural conditions. In our opinion, energy-rich biologically active substances (lutein and β-carotene) of fodder plants of Yakutia, synthesized in the fall during cold hardening, play a key role in the life of animals under extreme low ambient temperatures. In addition, lutein is one of the physiologically active substances in cow's milk.

**Keywords:** fodder plants, photosynthetic pigments, chlorophyll a and b, carotenoids, cryolithozone, lutein, β-carotene.

## Введение

В зеленых листьях высших растений присутствуют молекулы фотосинтетических пигментов: хлорофиллы а, b и каротиноиды, которые являются изопреноидными С40-полиенами с сопряженными двойными связями, обладающими характерными спектрами поглощения в ультрафиолетовой области. Хлорофиллы и каротиноиды являются одними из наиболее важных химических соединений в растениях, поскольку они влияют на интенсивность фотосинтеза и производство биомассы растений [1]. Хлорофилл играет ключевую роль в процессах биосинтеза, поскольку позволяет преобразовывать световую энергию в энергию химических связей в процессе фотосинтеза [2]. Установлено, что пигменты хлорофилла определяют интенсивность окраски растений. Содержание пигментов также влияет на химический состав растений и используется в различных статистических корреляциях, относящихся к их физиологии и фитохимии. Содержание фотосинтетических пигментов в растениях также считается показателем их кормовой и питательной ценности, а также реакции на среду обитания, погодные и антропогенные условия [3]. Помимо хлорофиллов, еще одной наиболее распространенной группой растительных пигментов являются каротиноиды. Каротиноиды – вторичные метаболиты растений, которые разделяются на две группы: углеводородные каротины, такие как β-каротин, и ксантофиллы, т. е. кислородсодержащие производные каротинов. Это группа липофильных соединений, цвет которых варьируется от желтого до оранжевого в красный. Каротиноиды – вспомогательные пигменты при фотосинтезе, они передают поглощенную энергию до хлорофилла с эффективностью 15–90%, также защищают хлорофилл от чрезмерной силы света, β-каротин (провитамин А) является источником витамина А для человека и животных [4].

Кормопроизводство на Севере России, включая огромную территорию Якутии (площадь 3,1 млн. км<sup>2</sup>), сталкивается с экстремальными природно-климатическими факторами [5]. К ним относятся короткий вегетационный период, экстремально низкие зимой (до -60 °С) и высокие летом (до +40 °С) температуры воздуха и наличие многолетней мерзлоты. В течение короткого вегетационного периода растения подвержены воздействию высокой активности солнечной радиации, дефицита влаги и кратковременных заморозков на поверхности почвы в начале летнего и осеннего периодов. Многие кормовые растения, произрастающие на территории многолетней мерзлоты Якутии, играют важную роль в качестве кормовой базы для травоядных животных, мясо и молоко которых составляют основу традиционного рациона местных жителей.

В Якутии основу кормовой базы составляют естественные кормовые угодья (луга и пастбища). Спецификой сезонного роста и развития основной массы травянистой растительности криолитозоны является то, что её интенсивный рост приходится на первую половину лета. В связи с этим целью данной работы было сравнительное исследование состава и содержания фотосинтетических пигментов в листьях некоторых кормовых растений Якутии.

## Материалы и методы исследования

Объектами для исследования послужили образцы листьев кормовых растений: овсяницы овечьей (*Festuca ovina* L.), мятлика сибирского (*Poa sibirica* Roshev.), вейника Лангсдорфа (*Calamagrostis langsdorffii* (Link) Trin.), лисохвоста альпийского (*Alopecurus alpinus* Smith). Отбирали листья на второй надпойменной террасе долины р. Лены, Центральная Якутия (62°15' с. ш., 129°37' в. д.). Эксперименты с криокормом (овес посевной) проводили на полевых участках в условиях Центральной Якутии (окрестности г. Якутска, 62 °с. ш., 130 °в. д.). Однолетний злак овес посевной (*Avena sativa* L., сорт Нюрбинский) высевали в два срока: стандартный (ранний) 31 мая и опытный (поздний) – 15 июля.

Пигменты экстрагировали из зеленых листьев, свежего растительного материала 100% ацетоном при 8–10 °С на слабом свете. Гомогенат центрифугировали 20 мин при 8000 g при температуре 4 °С. Содержание хлорофиллов (a + b) и каротиноидов в супернатанте определяли спектрофотометрически с использованием спектрофотометра Agilent 8453 E (Agilent Technologies Deutschland GmbH, Германия) путем регистрации оптической плотности при длинах волн 662, 644 и 470 нм.

Разделение индивидуальных каротиноидов проводили с помощью тонкослойной хроматографии (ТСХ) в соответствии с модифицированным методом [6] после экстрагирования лиофилизатов 100% ацетоном.

Определение пигментов проводили в 3 биологических и двух аналитических повторностях. Содержание пигментов рассчитывали на сухую массу и выражали в мг/г для хлорофиллов и мкг/г для каротиноидов. Сухую массу растительного материала определяли высушиванием проб до постоянного веса в сушильном шкафу при 100 °С.

### Результаты и обсуждение

По богатству в видовом и родовом отношении злаки (*Poaceae*) занимают первое место в флоре Якутии. Злаковые формации господствуют повсюду на лугах и пастбищах Якутии. Нередко они образуют чистые и обширные заросли: ячменные, бескильницевые, пырейные, бекманиевые, вейниковые ассоциации.

Анализ содержания фотосинтетических пигментов с помощью высокоэффективной тонкослойной хроматографии в кормовых травах Республики Саха (Якутии), территория которой полностью лежит на многолетней мерзлоте, показал присутствие хлорофиллов a и b, а также индивидуальных желтых пигментов (каротиноидов), таких как: неоксантин, виолаксантин, лютеин и β-каротин. По содержанию фотосинтетических пигментов, присутствующих в кормовых травах, значительно отличается уровень содержания зеленых пигментов у криокорма из *Avena sativa*. Содержание хлорофиллов (a + b) в листьях криокорма из *Avena sativa* было максимальным и составляло 5,2 мг/г сухой массы среди других кормовых трав Якутии. Содержание хлорофилла a на 3,4 раза

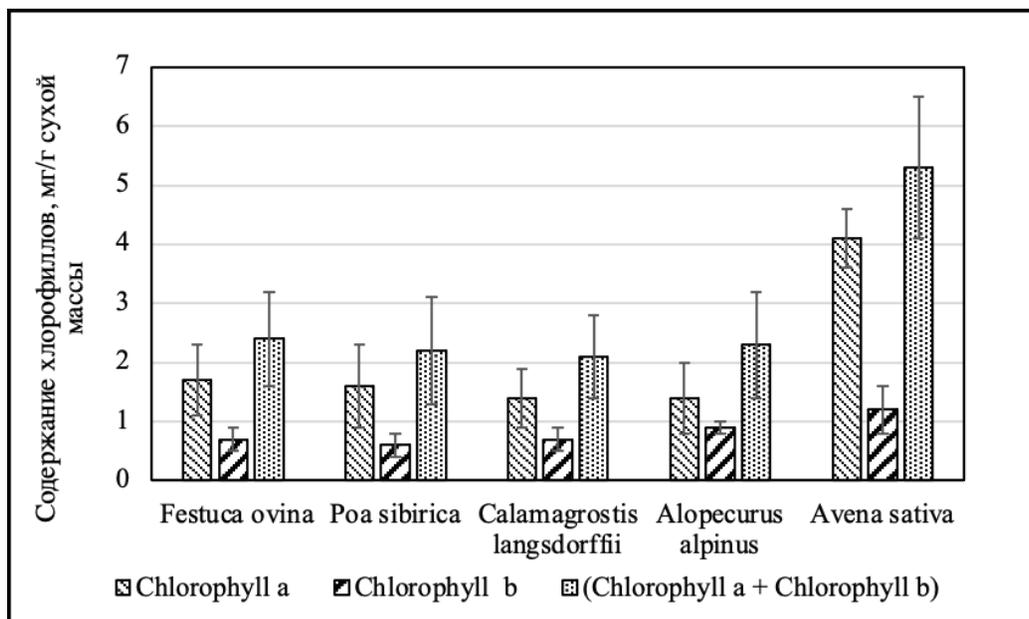


Рис. 1. Содержание хлорофиллов a и b в листьях некоторых кормовых растений криолитозоны Якутии

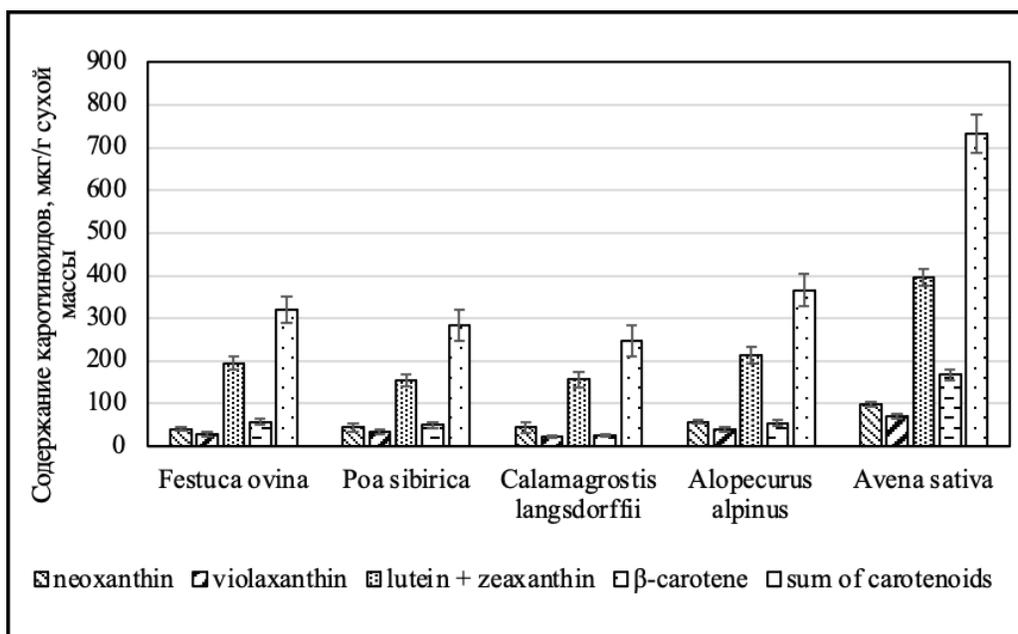


Рис. 2. Содержание каротиноидов в листьях некоторых кормовых растений криолитозоны Якутии

превышало содержание хлорофилла b в листьях овса посевного. Содержание хлорофиллов (a + b) в листьях *Festuca ovina*, *Poa sibirica*, *Calamagrostis langsdorffii*, *Alopecurus alpinus* практически было на одинаковом уровне от 2,1 до 2,4 мг/г сухой массы. Наименьшее содержание хлорофиллов наблюдали в листьях *Calamagrostis langsdorffii*.

В образцах кормовых трав, кроме зеленых пигментов, было определено абсолютное содержание (мкг/г сухой массы) желтых пигментов растений-каротиноидов. Было установлено, что содержание каротиноидов было высоким у тех кормовых трав, у которых мы обнаружили высокое содержание хлорофиллов. Так, содержание суммы каротиноидов в листьях овса посевного было самым высоким среди изученных растений. Среди каротиноидов у всех изученных растений содержание лютеина+зеаксантина преобладало в листьях овса посевного, которое было выше в 1,9 раз, чем у *Alopecurus alpinus*. Содержание лютеина+зеаксантина в зеленых листьях мятлика сибирского и вейника Лангсдорфа было на одинаковом уровне и составляло 175-180 мкг/г сухой массы. Листья криокорма из овса посевного также содержали высокое содержание  $\beta$ -каротина, данный пигмент является физиологически активным веществом и как лютеин он должен поступать в организм животного и человека через пищу. По нашему мнению, такой криокорм из *Avena sativa* имеет высокую кормовую ценность, так как богат высоким уровнем содержания фотосинтетических пигментов, особенно  $\beta$ -каротином (провитамином А) и лютеином.

Так, у изученных кормовых видов растений Центральной Якутии в листьях поддерживался высокий уровень содержания неоксантина, виолаксантина, лютеина и  $\beta$ -каротина. Нужно отметить, что из перечисленных выше каротиноидов наиболее важную роль играет  $\beta$ -каротин, так как он является предшественником витамина А, и лютеин, имеющий высокое антиоксидантное (защитное) свойство. Данные вещества не синтезируются в организме животных и человека [7]. Согласно современным представлениям, лютеин и  $\beta$ -каротин активно функционируют в разных органах травоядных животных [8]. Они играют особую роль в функционировании зрительного аппарата млекопитающих, защищая данный орган от светового фактора. Кроме того,

лютеин является одним из физиологически активных веществ, входящих в состав коровьего молока. Например, этот пигмент в большом количестве содержится в молозиве коровы, из-за этого его окраска в первые 7-10 дней имеет желто-оранжевую окраску. В этот период новорожденный теленок питается молозивом, богатым лютеином и  $\beta$ -каротином, что способствует его адаптации во внешней неблагоприятной среде [9].

### Заключение

Дикорастущая флора Якутии обладает огромными возможностями, позволяющими при активном вмешательстве человека достичь обилия высококачественных сельскохозяйственных продуктов.

Известно, что количественные и качественные изменения пигментного комплекса являются чувствительным показателем физиологического состояния растений и активности их фотосинтетического аппарата. Нами с помощью высокоэффективной тонкослойной хроматографии были выделены из листьев кормовых растений криолитозоны Якутии хлорофилл а и b, каротиноиды. Были определены уровни содержания фотосинтетических пигментов в зеленых листьях кормовых трав с применением спектрофотометрии. Установлено, что криокорм из *Avena sativa* имеет более высокое содержание фотосинтетических пигментов (1,5-2 раза), что продлевает функционирование фотосинтетического аппарата в условиях низких положительных температур. Выявлено, что листья *Alopecurus alpinus* имеют более высокую кормовую ценность по содержанию зеленых пигментов, чем другие виды кормовых трав, произрастающих в естественных условиях криолитозоны Якутии. В целом на основании вышеупомянутых результатов авторы пришли к выводу, что уровень содержания фотосинтетических пигментов в листьях кормовых трав играет одну из ключевых ролей в регуляции жизнедеятельности травоядных животных в условиях Крайнего Севера.

### Л и т е р а т у р а

1. Дымова, О. В. Фотосинтетические пигменты в растениях природной флоры таежной зоны европейского Северо-Востока России / О. В. Дымова, Т. Головки // Физиология растений. – 2019. – № 3. – С. 198–206.
2. Проективное содержание хлорофилла и биоразнообразие растительности основных ботанико-географических зон России / П. Ю. Воронин, Е. И. Ефимцев, А. А. Васильев [и др.]. // Физиология растений. – 1995. – Т. 42. – С. 295–302.
3. Софронова, В. Е., Фонд зеленых и желтых пигментов у ярового овса, культивируемого для получения криокорма в условиях Центральной Якутии / В. Е. Софронова, В. А. Чепалов, К. А. Петров [и др.]. // Аграрный вестник Урала. – 2019. – 4 (183). – С. 72–77.
4. Liu R., Wang T., Zhang B. et al. Lutein and zeaxanthin supplementation and association with visual function in age-related macular degeneration // Invest Ophthalmol Vis Sci. 2015. V. 56. P. 252–258.
5. Способ использования посевов овса на корню при тебеневке молодняка лошадей якутской породы / А. Н. Иванов, Р. В. Иванов, П. Ф. Пермякова, Р. Е. Васильева // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2015. – №1. – С. 28–33.
6. Роль пигментной системы вечнозеленого кустарничка *Ephedra monosperma* в адаптации к климату Центральной Якутии / В. Е. Софронова, В. А. Чепалова, О. В. Дымова, Т. К. Головки // Физиология растений. – 2014. – Т. 61. – С. 266–274.
7. Патент Российская Федерация. Способ получения стабильной лютеиновой пасты на основе растительного криосырья с повышенным содержанием каротиноидов : № 2020123797 : заявл; опубл. 22.06.2021 / Чирикова Н. К., Нохсоров В. В., Петров К. А. – 12 с.
8. Петров, К. А. Зеленый криокорм и адаптация животных к холодному климату Якутии / К. А. Петров // Наука и техника в Якутии. – 2014. № 2. – С. 12–15.
9. Румянцев, В. А. Высокоэффективные зеленые корма в зимний период для животноводства Якутии / В. А. Румянцев, М. Ф. Григорьев // Актуальные вопросы современной науки. – 2014. – № 38. – С. 155–161.

### References

1. Dymova, O. V. Fotosinteticheskie pigmenty v rasteniyah prirodnoj flory taezhnoj zony evropejskogo Severo-Vostoka Rossii / O. V. Dymova, T. Golovko // *Fiziologiya rastenij*. – 2019. – № 3. – S. 198–206.
2. Proektivnoe sodержanie hlorofilla i bioraznoobrazie rastitel'nosti osnovnyh botaniko-geograficheskikh zon Rossii / P. Yu. Voronin, E. I. Efimcev, A. A. Vasil'ev [i dr.]. // *Fiziologiya rastenii*. – 1995. – T. 42. – S. 295–302.
3. Sofronova, V. E., Fond zelenyh i zhelytyh pigmentov u yarovogo ovsa, kultiviruemogo dlya polucheniya kriokorma v usloviyah Central'noj Yakutii / V. E. Sofronova, V. A. Chepalov, K. A. Petrov [i dr.]. // *Agrarnyj vestnik Urala*. – 2019. – 4 (183). – S. 72–77.
4. Liu R., Wang T., Zhang B. et al. Lutein and zeaxanthin supplementation and association with visual function in age-related macular degeneration // *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2015. V. 56. P. 252–258.
5. Sposob ispol'zovaniya posevov ovsa na kornyu pri tebenevke molodnyaka loshadei yakutskoj porody / A. N. Ivanov, R. V. Ivanov, P. F. Permyakova, R. E. Vasil'eva // *Kormlenie sel'skohozyajstvennyh zhivotnyh i kormoproizvodstvo*. – 2015. – №1. – S. 28–33.
6. Pol' pigmentnoj sistemy vechnozelenogo kustarnichka Ephedra monosperma v adaptacii k klimatu Central'noj Yakutii / V. E. Sofronova, V. A. Chepalova, O. V. Dymova, T. K. Golovko // *Fiziologiya rastenii*. – 2014. – T. 61. – C. 266–274.
7. Patent Rossijskaya Federaciya. Sposob polucheniya stabil'noj lyuteinovej pasty na osnove rastitel'nogo kriosyr'ya s povyshennym sodержaniem karotinoidov : № 2020123797 : zayavl; opubl. 22.06.2021 / Chirikova N. K., Nohsоров V. V., Petrov K. A. – 12 s.
8. Petrov, K. A. Zelenyi kriokorm i adaptaciya zhivotnyh k holodnomu klimatu Yakutii / K. A. Petrov // *Nauka i tekhnika v Yakutii*. – 2014. № 2. – S. 12–15.
9. Rummyancev, V. A. Vysokoeffektivnye zelenye korma v zimnij period dlya zhivotnovodstva Yakutii / V. A. Rummyancev, M. F. Grigor'ev // *Aktual'nye voprosy sovremennoj nauki*. – 2014. – № 38. – S. 155–161.

