

Научная статья

УДК 633.2; 528.8.:63

doi: 10.24412/2078-1318-2021-2-18-29

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗЛИЧНЫХ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ ПРИ ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА КОРМОВЫХ ТРАВ****Андрей Алексеевич Комаров<sup>1</sup>, Андрей Дмитриевич Кирсанов<sup>2</sup>, Сергей Николаевич Малашин<sup>3</sup>**<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Агрофизический научно-исследовательский институт», Гражданский пр., 14, Санкт-Петербург, 195420, Россия; Zelenydar@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0003-1430-0509><sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Агрофизический научно-исследовательский институт», Гражданский пр., 14, Санкт-Петербург, 195420, Россия; andrej.kirsanov.2012@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0002-1007-7170><sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2, Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; malashin831@rambler.ru

**Реферат.** Для успешного управления производственным процессом заготовки кормов все шире используется оценка состояния больших массивов землепользования, осуществляемая с помощью дистанционного зондирования Земли. На основании анализа космических снимков представляется возможность своевременно выявлять оптимальные фазы роста и развития растений, в том числе и многолетних травостоев. Анализ состояния растительного покрова проводился с помощью сервиса Land Viewer, используя данные снимков со спутника Sentinel-2. Все исследования проводились в течение вегетационного сезона 2020 г. на поле площадью 40 га. Координаты полигона 60°4'22"–60°3'60" северной широты и 32°17'0"–32°17'5" восточной долготы. На основании сравнительной характеристики различных вегетационных индексов (ВИ): NDVI, SAVI, ARVI, EVI и NDWI выявлены наиболее информативные для оценки сроков уборки многолетних трав на кормовые цели. Анализ состояния растений во времени их развития выявил неоднородность показателей по полю для всех оцениваемых индексов. Так, максимальный вегетационный индекс NDVI 0,8–1,0 в июне покрывал 21,78% территории полигона, средний вегетационный индекс 0,6–0,8 – 39,74%, а минимальный 0,2–0,6 – 30,5%. На основании этих данных сделан вывод о целесообразности организации уборки трав не по всей территории полигона, а только по зонам активной вегетации растений (25,4 га), что обеспечило заготовку качественных кормов. Установлено, что вегетационный индекс NDVI наиболее информативен (в данной климатической зоне) и больше других подходит для целей и задач оценки состояния растений, особенно в кормопроизводстве. Вместе с тем такие ВИ, как NDWI и ARVI, могут хорошо дополнять NDVI.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование Земли, вегетационные индексы, космоснимки, кормовые травы

**Цитирование.** Комаров А.А., Кирсанов А.Д., Малашин С.Н. Сравнительная характеристика различных вегетационных индексов при оценке состояния растительного покрова кормовых трав // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2021. – №2 (63). – С. 18–29. doi: 10.24412/2078-1318-2021-2-18-29

**COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF VARIOUS VEGETATION INDICES (VI) WHEN THE VEGETATION COVER STATE OF FORAGE GRASSES ASSESSING****Andrey A. Komarov<sup>1</sup>, Andrey D. Kirsanov<sup>2</sup>, Sergey N. Malashin<sup>3</sup>**<sup>1</sup>Federal State Budgetary Scientific Institution «Agrophysical Research Institute», Grazhdansky prospect, 14, Saint Petersburg, 195420, Russia; e-mail: Zelenydar@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0003-1430-0509><sup>2</sup>Federal State Budgetary Scientific Institution «Agrophysical Research Institute», Grazhdansky prospect, 14, Saint Petersburg, 195420, Russia; andrej.kirsanov.2012@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0002-1007-7170><sup>3</sup>Saint-Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoye shosse, 2, Pushkin, Saint-Petersburg, 196601, Russia; malashin831@rambler.ru

**Abstract.** For the successful management of the production process of forage harvesting, the state assessment of large land-use areas, carried out by remote sensing of the Earth, is increasingly used. Based on the analysis of satellite images, it is possible to identify the optimal growth and development phases of plants, including perennial herb stands, in a timely manner. The analysis of vegetation cover state was carried out by the Land Viewer service, using data from images from the Sentinel-2 satellite. All studies were conducted during the 2020 growing season in a 40-hectare field. The coordinates of the polygon are 60°4'22"-60°3'60" north latitude and 32°17'0"-32°17'5" east longitude. Based on the comparative characteristics of various vegetation indices (VI): NDVI, SAVI, ARVI, EVI and NDWI the most informative for assessing of perennial grasses harvesting time for forage purposes were identified. The analysis of the state of plants in the time of their development revealed the heterogeneity of the indicators in the field for all the evaluated indices. Thus, the maximum vegetation index NDVI 0.8-1.0 in June covered 21.78% of the landfill area, the average vegetation index 0,6-0,8 – 39,74%, and the minimum 0,2-0,6 – 30,5%. Based on these data, it is concluded that it is advisable to organize grass harvesting not on the entire territory of the landfill, but only on the zones of active vegetation of plants (25.4 hectares), which provided the procurement of high-quality feed. It is established that the vegetation index NDVI is the most informative (in this climatic zone) and is more suitable for the purposes and tasks of plants state assessing, especially in forage production. However, VIs such as NDWI and ARVI can complement NDVI well.

**Keywords:** *remote sensing of the Earth, vegetation indices, satellite images, forage grasses*

**Citation.** Komarov A.A., Kirsanov A.D., Malashin S.N. (2021), "Comparative characteristics of various vegetation indices (vi) when the vegetation cover state of forage grasses assessing", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 63, no. 2, pp. 18-29. (In Russ.). doi: 10.24412/2078-1318-2021-2-18-29

**Введение.** В практике сельскохозяйственного производства для успешного управления производственным процессом заготовки кормов все шире используются не только наземные наблюдения, но и оперативный мониторинг состояния вегетирующих растений, осуществляемый с помощью оперативных данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [1-3]. Такие наблюдения (оперативный мониторинг) важны по той причине, что с их помощью можно производить оценки состояния больших массивов землепользования и своевременно выявлять оптимальные фазы ростовых процессов растений [4-6], обеспечивающих получение наиболее качественной продукции, в том числе и при оценке состояния многолетних травостоев [7].

Согласно рекомендациям по заготовке кормов целью кормопроизводства является получение грубых кормов с энергетическим показателем приблизительно в 11,0 МДж (мегаджоулей) на килограмм сухого вещества. При этом известно [8], что содержание энергии в траве зависит от стадии развития растений и времени их уборки. Так, в начале колошения луговые травы содержат 11-11,5 МДж на кг сухого вещества, поэтому эта фаза развития растений является определяющей в заготовке кормов. Другим важнейшим показателем качества кормов является содержание сырого протеина (белкового азота) на уровне 150-170 г сырого протеина на 1 кг сухого вещества. Этот показатель крайне важен, поскольку более высокое содержание протеина плохо переваривается животными, а низкое содержание приводит к тому, что требуется добавлять дорогостоящие белковые корма, это делает производство более дорогостоящим.

Таким образом, оценка сроков уборки трав является определяющей для получения качественных кормов. Для получения высококачественных кормов многолетние злаковые травы следует убирать в фазе выхода в трубку, начало колошения, для бобовых – в фазе бутонизации, поскольку именно в этот период наблюдается оптимальное содержание сырой клетчатки в 1 кг сухого вещества (СВ) растений (22%). Задержка с началом уборки, с одной стороны, приводит к увеличению урожайности зелёной массы и валового объёма энергии и протеина с единицы площади, с другой стороны, снижает качественные показатели в 1 кг СВ корма: увеличивается содержание сырой клетчатки, лигнина, снижается концентрация

обменной энергии (ОЭ) и сырого протеина (СП) и, как следствие, снижается поедаемость корма, его усвояемость [8-9]. Таким образом, важным и наиболее актуальным аспектом в заготовке качественных кормов является своевременное выявление сроков их заготовки (сроков уборки), что может быть реализовано с помощью ДЗЗ.

**Цель исследования** состояла в выборе оптимальных сроков уборки многолетних трав путем сравнительной оценки состояния растительного покрова с помощью ДЗЗ по различным вегетационным индексам.

**Материалы, методы и объекты исследований.** Исследования проводились в системе тестовых полигонов [10] в соответствии с принятой методикой [11-12]. Оцениваемый полигон расположен в пределах Приладожской низменной равнины на послеледниковой озерной террасе. Рельеф плоско выровненный, пониженный. Угодье – пашня. Мелиоративное состояние – осушенная. Площадь полигона 40 га. Координаты полигона  $60^{\circ}4'22''$ – $60^{\circ}3'60''$  северной широты и  $32^{\circ}17'0''$ – $32^{\circ}17'5''$  восточной долготы.

Почвенная разность – торфяная низинная (переходная) маломощная на озерных песках.

Оцифрованные карты полигона получены с использованием различных технических и информационных ресурсов. На рисунке 1 представлен выделенный на космоснимке полигон в оптическом диапазоне.



Рисунок 1. Выделенный на космоснимке полигон в оптическом диапазоне

Figure 1. The polygon selected in the satellite image in the optical range

В исследованиях была использована информация, взятая со спутника Sentinel-2. Уникальность данного спутника состоит в сочетании большого территориального охвата, частых повторных съемок (каждые 5 дней на экваторе, каждые 2-3 дня в средних широтах) и получением полного покрытия всей Земли мультиспектральной съемкой высокого разрешения.

Для обработки и анализа изображений используется сервис Land Viewer. Данный сервис удобен, прост в использовании, хорошо подходит для поиска и обработки спутниковых снимков. Land Viewer включает в себя значительный набор фильтров и алгоритмов для анализа данных.

Вегетационный индекс (ВИ) – показатель, рассчитываемый в результате операций с разными спектральными диапазонами (каналами) ДЗЗ (рис.2.) и имеющий отношение к

параметрам растительности в данном пикселе снимка. Эффективность ВИ определяется особенностями отражения. В настоящее время существует около 160 вариантов вегетационных индексов.

Ранее [13] мы проводили сравнительный анализ ряда вегетационных индексов по спутниковым данным: *Difference Vegetation Index* (DVI), *Green Difference Vegetation Index* (GDVI), *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Green Normalized Difference Vegetation Index* (GNDVI), *Leaf Area Index* (LAI), *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI) с пространственным разрешением 30 м. На основании этих исследований было установлено наличие статистически значимой связи урожайности зерновых культур и многолетних трав для всех вегетационных индексов, что наблюдалось с середины мая. При этом наибольший коэффициент корреляции был выявлен для индексов DVI и SAVI –  $r=0,895$  и  $0,877$  соответственно,  $p=0,01$ .

В настоящих исследованиях был изменен перечень оцениваемых вегетационных индексов, где использовались такие, как: NDVI, SAVI, ARVI, EVI и NDWI, имеющие следующие спектральные диапазоны оцениваемых показателей (рис.2).

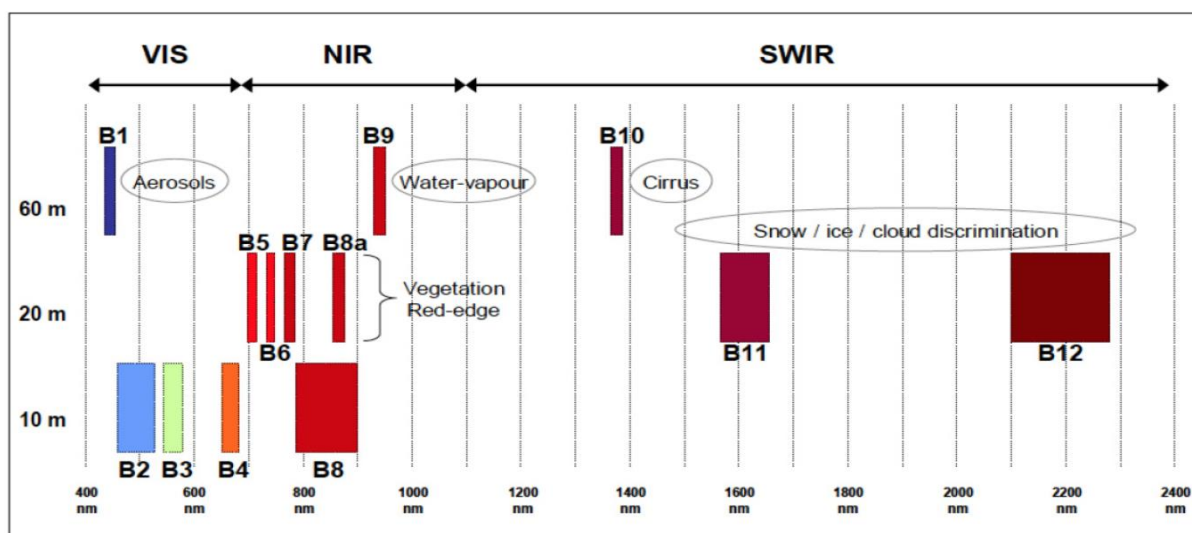


Рисунок 2. Спектральные диапазоны оцениваемых показателей  
Figure 2. Spectral ranges of the estimated indicators

Основной задачей при этом являлось выявление какого-то одного или группы из нескольких взаимодополняющих ВИ, которые были бы наиболее информативны для оценки состояния вегетирующих луговых трав, используемых для заготовки и производства кормов.

Ниже представлен анализ состояния растительного покрова многолетних трав, проведенный с помощью сервиса Land Viewer. Все исследования приурочены к одному тестовому полигону и были проведены в одно время. Что, в свою очередь, позволит сравнить и оценить особенность тех или иных ВИ.

**Результаты исследований.** Первым и основным оцениваемым ВИ был Normalized Difference Vegetation Index, *NDVI* (рис.3), определяемый по формуле:  $(B8A-B04)/(B8A+B04)$  или

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра;

RED – отражение в красной области спектра.

Индекс NDVI отличается простотой вычисления и часто применяется при анализе состояния растений. Недостатком является то, что данный ВИ умеренно чувствителен к



изменениям почвенного и атмосферного фона, не чувствителен или слабо чувствителен на участках со слабым развитием растений и на незанятых растительностью участках почвы.

На рисунке 3 отображено изменение состояния исследуемых культур (многолетние травы) в период их активной вегетации – с июня по август. На снимке в июне видно начало активной вегетации растений, а также то, что состояние растительного покрова неоднородно по территории поля. Так, если в северной части поля, где индекс вегетации не превышает 0,1-0,4, наблюдается практически отсутствие вегетирующих растений, то в центральной и особенно южной части поля (ярко зеленым цветом) отображается вегетирующая растительность с индексом 0,6-0,9.

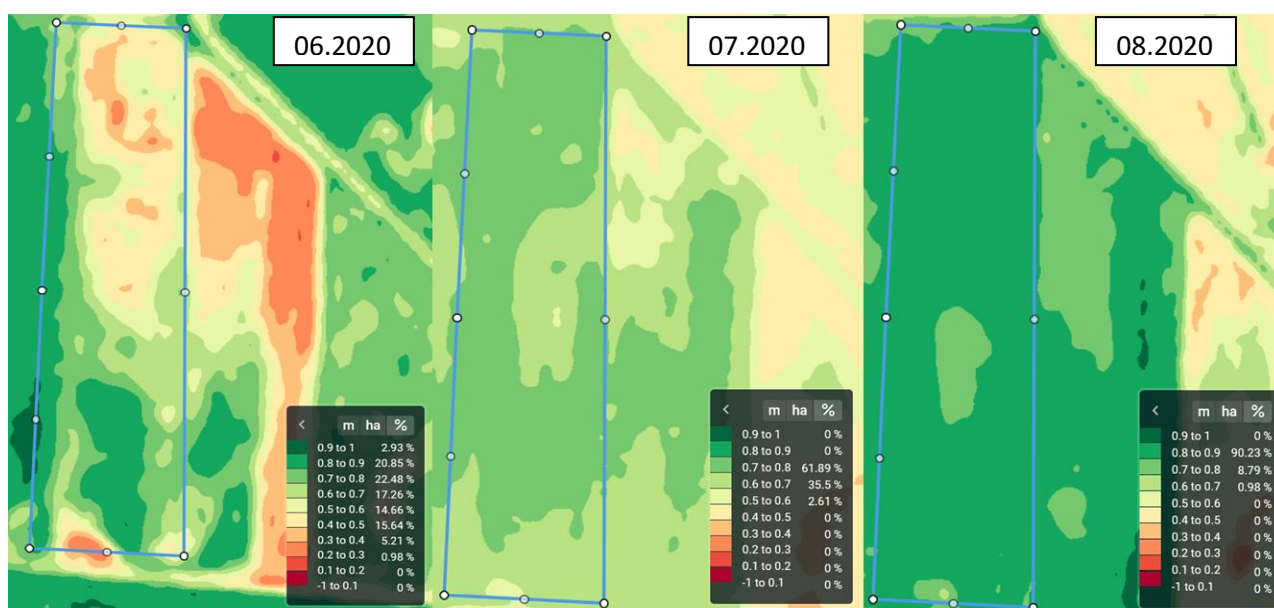


Рисунок 3. Динамика состояния растений по вегетационному индексу NDVI  
Figure 3. Dynamics of the state of plants according to the vegetation index NDVI

0.9 to 1	2.93 %	0.9 to 1	0 %	0.9 to 1	0 %
0.8 to 0.9	20.85 %	0.8 to 0.9	0 %	0.8 to 0.9	90.23 %
0.7 to 0.8	22.48 %	0.7 to 0.8	61.89 %	0.7 to 0.8	8.79 %
0.6 to 0.7	17.26 %	0.6 to 0.7	35.5 %	0.6 to 0.7	0.98 %
0.5 to 0.6	14.66 %	0.5 to 0.6	2.61 %	0.5 to 0.6	0 %
0.4 to 0.5	15.64 %	0.4 to 0.5	0 %	0.4 to 0.5	0 %
0.3 to 0.4	5.21 %	0.3 to 0.4	0 %	0.3 to 0.4	0 %
0.2 to 0.3	0.98 %	0.2 to 0.3	0 %	0.2 to 0.3	0 %
0.1 to 0.2	0 %	0.1 to 0.2	0 %	0.1 to 0.2	0 %
-1 to 0.1	0 %	-1 to 0.1	0 %	-1 to 0.1	0 %

Рисунок 4. Процентное соотношение качества биомассы, относительно шкалы с июня по август  
Figure 4. Percentage ratio of biomass quality, relative to the scale from June to August

Кластерный анализ состояния растений по времени их развития (рис.4) показывает, что максимальный вегетационный индекс NDVI 0,8-1,0 в июне покрывал 21,78% территории полигона, средний вегетационный индекс 0,6-0,8 – 39,74%, а минимальный 0,2-0,6 – 30,5%. То есть примерно каждая треть территории полигона приходилась на разном уровне вегетационного состояния растений: от максимальной вегетирующей (готовой к уборке) до созревающей и даже недостаточной. На основании этих данных можно было сделать вывод о целесообразности организации уборки трав (первый укос) не по всей территории полигона, а только по зонам активной вегетации растений (25,4 га), расположенным в центральной и южной

части поля, покрывающей 63,5% всей территории поля. В июле долевое участие активно вегетирующих растений составляло уже 97,38%, в то время как слабо вегетирующие растения составляли всего 2,61%. Активно вегетирующие растения предопределили необходимость проведения укоса практически по всей территории полигона. К августу практически вся территория полигона характеризовалась более высоким вегетационным индексом – до 0,8-0,9 (90,23%) и 0,7-0,8 (8,79%), характеризующим уже перестоявший травостой.

Оценка другого вегетационного индекса Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) показывает индекс развития растительности с коррекцией по почве и характеризуемого формулой:

$$1.5 \cdot (B8A - B04) / (B8A + B04 + 0.5)$$

или

$$SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} \times (1 + L),$$

где  $L = [0;1]$ ,  $L = 0$  – для наибольшего индекса облиствения;

$L = 1$  – для наименьшего, оптимальное значение  $L = 0,5$ .

SAVI – это индекс растительности, который пытается минимизировать влияние яркости почвы с помощью коэффициента коррекции яркости почвы.

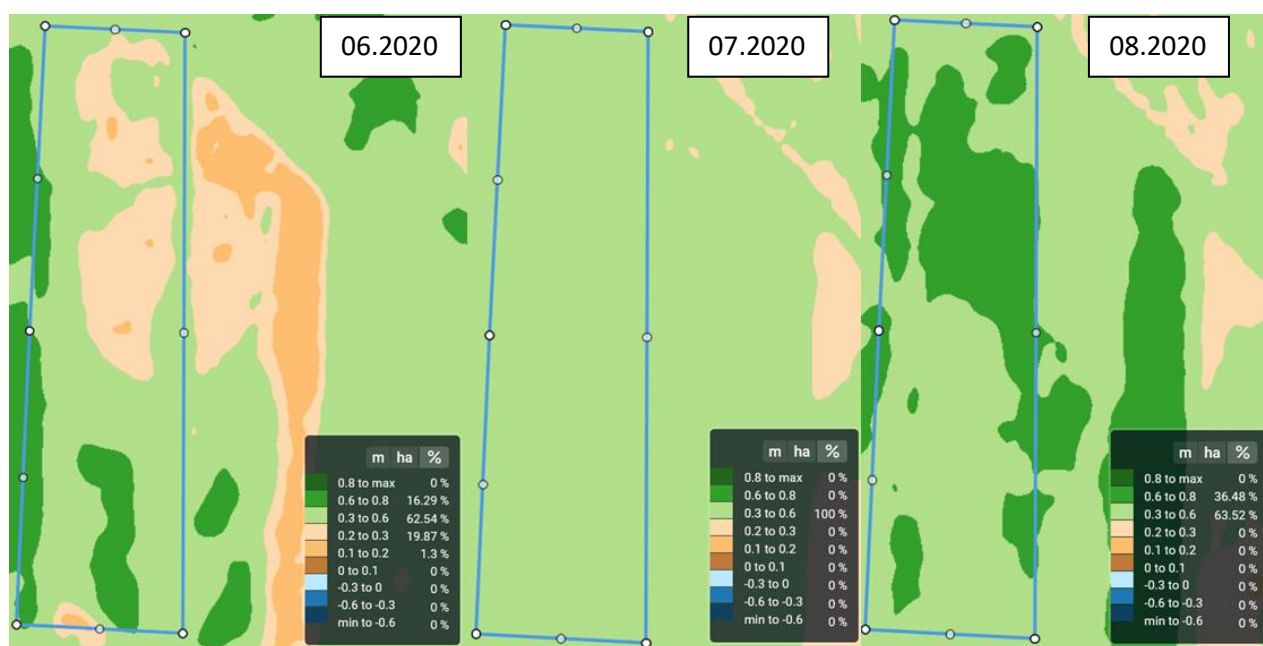


Рисунок 5. Динамика состояния растений по вегетационному индексу SAVI  
Figure 5. Dynamics of the state of plants according to the vegetation index SAVI

На рисунке 5 отображена динамика состояния растений по вегетационному индексу SAVI. Этот вегетационный индекс оказывается менее подходящим для меняющейся оценки состояния растений в период вегетации. Это объясняется тем, что идет коррекция по яркости почвы, следовательно, индекс менее чувствителен по отношению к растительности. Данный индекс уступает по функциональности индексу NDVI, с его помощью сложнее выявлять проблемные зоны на полях, однако можно, огрубляя результаты, принимать решения по оптимизации уборки растений во времени. Так, на основании этого индекса агроному легче принять решение о целесообразности уборки растений как по отдельным участкам поля (июнь и август), так и по всему массиву (июль).

Вегетационный индекс Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) является улучшенным NDVI, используется для коррекции влияния атмосферы и описывается формулой:

$$(B08-(B04-1*(B02-B04)))/(B08+(B04-1*(B02-B04)))$$

или

$$ARVI = \frac{NIR-Rb}{NIR+Rb},$$

где  $Rb = RED - a \times (RED - BLUE)$ , как правило,  $a=1$ , при малом покрытии растительности и неизвестном типе атмосферы  $a=0,5$ .

Он наиболее полезен в регионах с высоким содержанием атмосферного аэрозоля, включая тропические районы, загрязненные сажей.

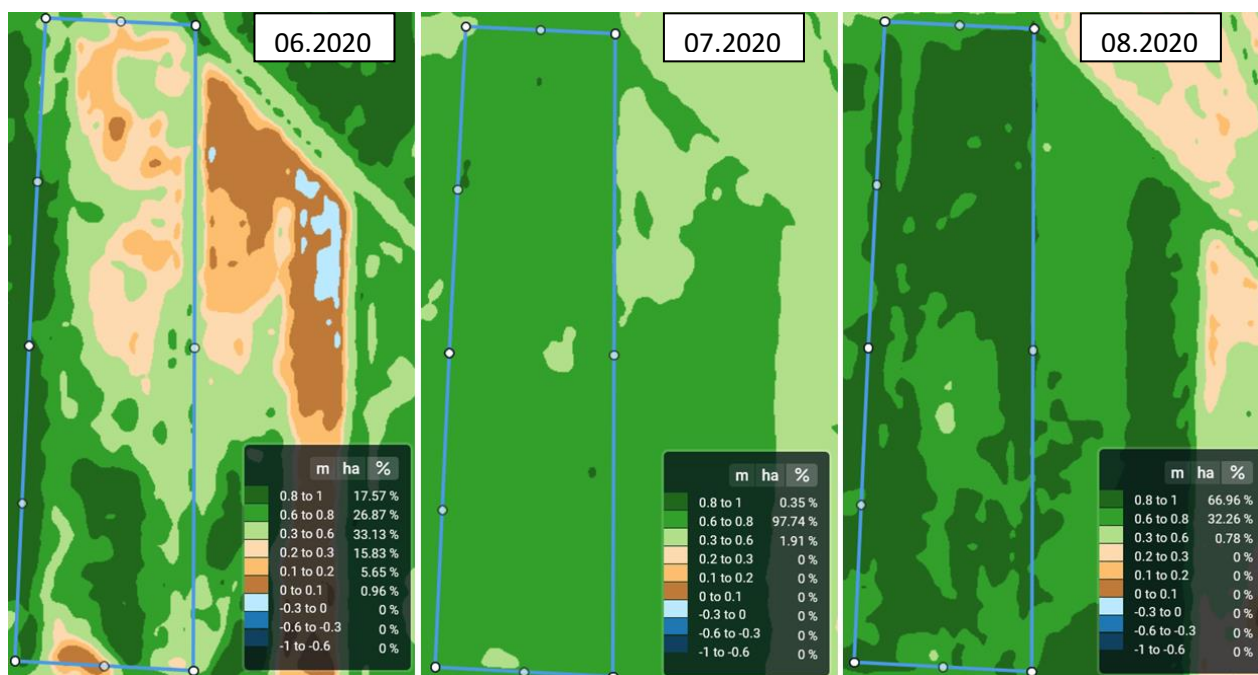


Рисунок 6. Динамика состояния растений по вегетационному индексу ARVI  
Figure 6. Dynamics of the state of plants according to the vegetation index ARVI

При использовании этого индекса снижается чувствительность к влиянию атмосферных явлений. Данный ВИ менее чувствителен к изменению растительного покрова, чем NDVI (рис.6). Данный индекс рационально использовать в комплексе с NDVI индексом. Особенность индекса в том, что на ранних и поздних стадиях вегетации растений он более контрастно описывает их состояние, в оптимальном же режиме развития растений (июль) показатели сглаживаются и информативность индекса снижается. На основании использования этого индекса агроному также легко принять решение о сроках проведения уборки растений.

Вегетационный индекс Enhanced Vegetation Index (EVI) является «оптимизированным» индексом вегетирующих растений, разработанным для улучшения показателей отклика интенсивности вегетации. Применяется при обилии биомассы растений (например, в тропиках). Его предпочтительно использовать в условиях с равнинной местностью, но хуже в ландшафтах с высотными перепадами (гористая и холмистая местность), описывается формулой:

$$2.5*((B8A-B04)/((B8A+6*B04-7.5*B02)+1))$$

или

$$EVI = 2.5 * \frac{(NIR - Red)}{(NIR + 6 * Red - 7.5 * Blue + 1)}$$



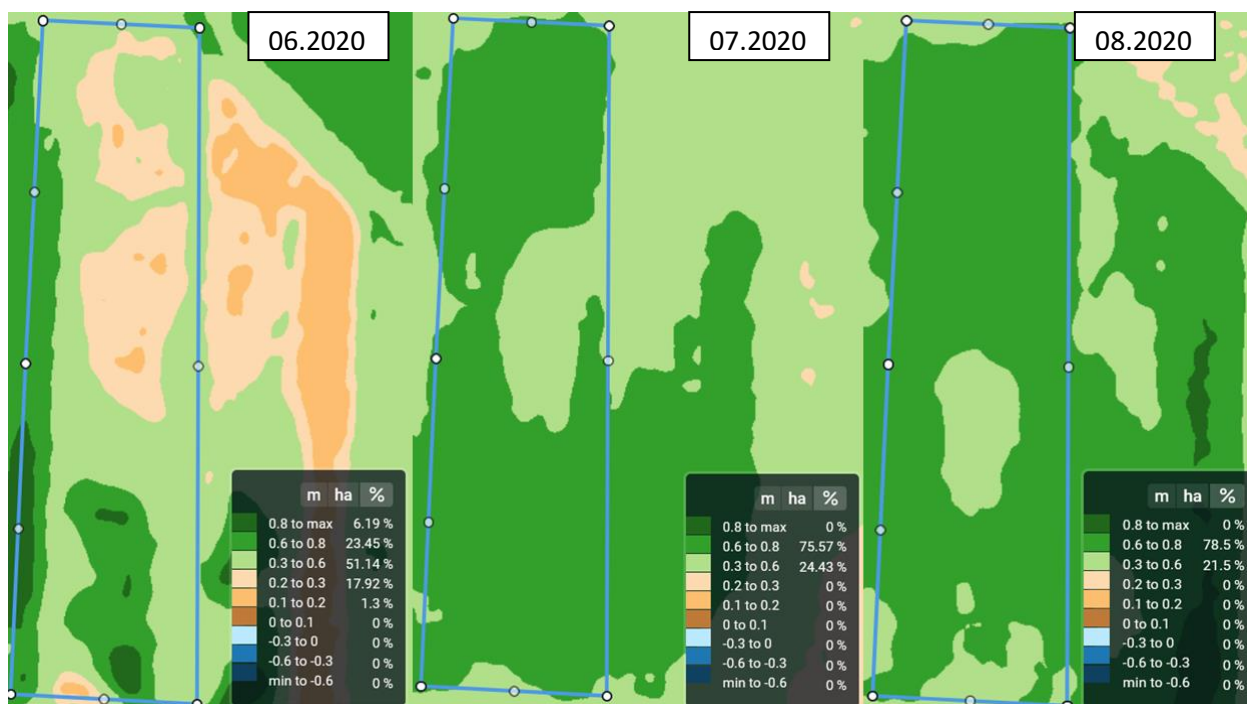


Рисунок 7. Динамика состояния растений по вегетационному индексу EVI  
Figure 7. Dynamics of the state of plants according to the vegetation index EVI

На рисунке 7 продемонстрировано использование этого индекса. В условиях Северо-Запада по информативности уступает ARVI, а следовательно и NDVI. То есть он проявляет меньшую чувствительность. Вместе с тем он пригоден для оценки общей картины состояния растительного покрова, хотя и более контрастно выделяет зоны неоднородности по росту и развитию растений.

Вегетационный индекс Normalized Difference Water Index (NDWI) характеризует средний инфракрасный диапазон и показывает не только интенсивность фотосинтеза, но и количество воды в клетках растений. Индекс важен для оценки состояния растений в аридной, засушливой зоне, где дефицит воды ограничивает биопродуктивность растений. Описывается формулой:

$$(B03-B08)/(B03+B08)$$

или

$$NDWI = \frac{(Green - NIR)}{(Green + NIR)}$$

Оценка состояния растений по индексу NDWI представлена на рисунке 8.

В условиях гумидного климата этот индекс не может служить для оценки сроков уборки многолетних трав.

Применение вегетационных индексов может быть целесообразным не только для оценки вегетирующих растений в период их роста и развития, например, для того, чтобы определить оптимальные сроки уборки многолетних трав, но и выделить те территории поля, где, прежде всего, целесообразно начать уборку. Вегетационные индексы могут помочь при оценке корректирующих приемов управления ростом и развитием растений [14]. Как показывает опыт заготовки силоса в производственных условиях на примере СПК «Кобраловский» Гатчинского района Ленинградской области, получение высококачественных кормов для сбалансированного питания крупного рогатого скота возможно при соблюдении не только оптимальных сроков уборки растительной зелёной массы, но и внесении органических удобрений перед посевом, а также внесении минеральных удобрений под первый и второй укос. Причем дозы и сроки внесения удобрений можно



контролировать с помощью ДЗЗ. Так, по данным Савенко Ю.П. (Управление ветеринарии Ленинградской области) и СПК «Кобраловский», внесение азотных удобрений (аммиачной селитры – 200 кг в физическом весе на гектар) в 2018 году позволило увеличить содержание сырого протеина в силосе при пересчёте на сухое вещество до 15,6% (с 9,6% в 2017 году). Скармливание такого силоса раздойным коровам позволило получить в расчёте на базовое молоко (по белку и жиру) от одной коровы дополнительно 6 кг молока. Улучшение качества силоса собственного производства привело к частичной замене белковых кормов в рационе КРС, что, в свою очередь, в дальнейшем улучшило здоровье животных.

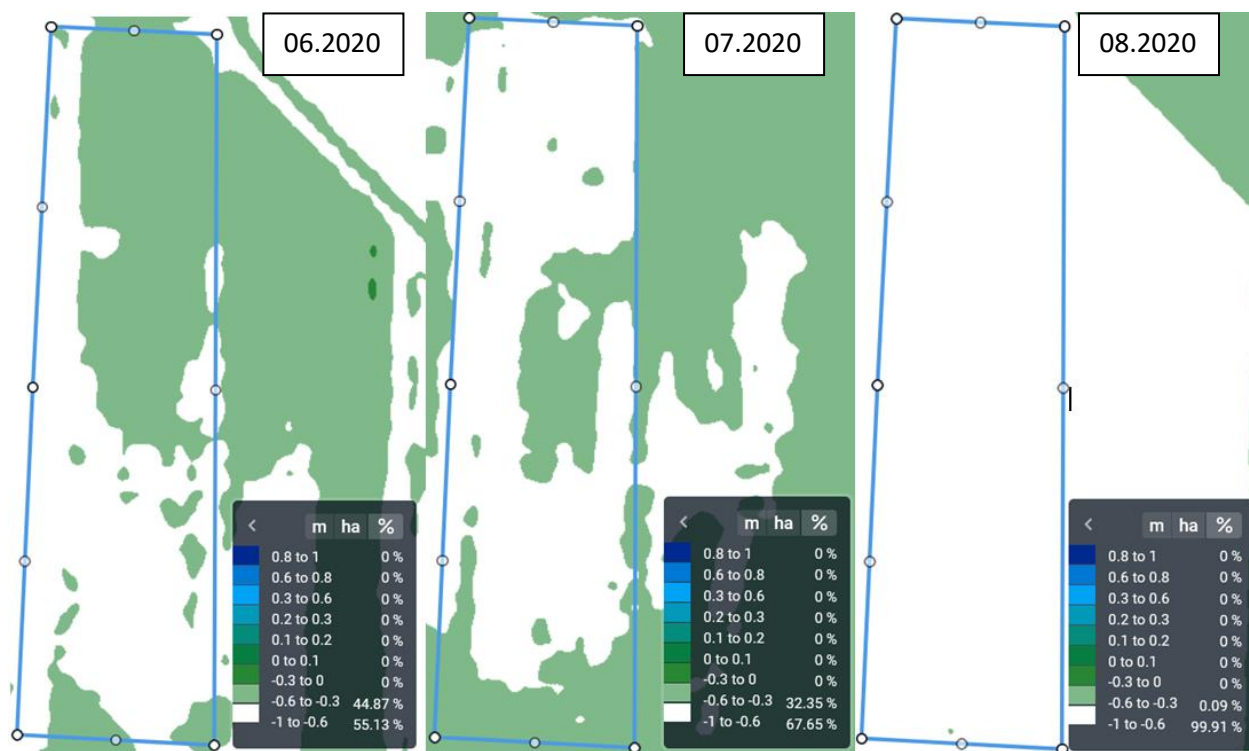


Рисунок 8. Динамика состояния растений по вегетационному индексу NDWI  
Figure 8. Dynamics of the state of plants according to the vegetation index NDWI

### Выводы:

На основании проведенных исследований показано, что для оценки состояния растительного покрова многолетних трав важным является определение оптимальных сроков уборки, это реализуется с помощью определения различных вегетационных индексов в системе ДЗЗ. Используя космоснимки, можно оценивать состояние растений на больших массивах, получая оперативную информацию для принятия решений по своевременной уборке как по всему полю, так и по отдельным его участкам, где растения вегетируют интенсивнее, а следовательно, нуждаются в первоочередной уборке.

Сравнив различные ВИ, можно судить о том, что вегетационный индекс NDVI наиболее информативен (в данной климатической зоне) и больше других подходит для целей и задач оценки состояния растений, особенно в кормопроизводстве. Вместе с тем отказываться от применения других ВИ полностью не стоит. Особенно необходимо учитывать не только достоинства, но и некоторые недостатки использования NDVI-индекса. Поэтому другие ВИ будут хорошо дополнять NDVI.

Таким образом, использование различных вегетационных индексов расширяет объем информации и позволяет в различных конкретных условиях использовать тот из них, который наиболее приемлем в данном конкретном случае.

Для большинства задач сравнения полученных результатов по вегетационным индексам необходимо сформировать серию эталонов (эталонных полевых полигонов), в

которых должны учитываться сезонные эколого-климатические показатели, причем как самого снимка, так и тестовых площадок на момент сбора данных. Особенно значимыми данные материалы становятся при расчетах продуктивности, запасах биомассы и прочих количественных показателях.

### Список источников литературы

1. Савин И.Ю., Симакова М.С. Спутниковые технологии для инвентаризации и мониторинга почв в России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – № 5. Т. 9. – С. 104-115.
2. Bastiaanssen W.G.M., Noordman E.J.M., Pelgrum H., Davids G., Thoreson B.P., Allen R.G. SEBAL model with remotely sensed data to improve water resources management under actual field conditions // Journal of Irrigation and Drainage Engineering. – 2005. – № 131(1). – С. 85-93 (doi: 10.1061/(ASCE)0733-9437(2005)131:1(85)).
3. Menges R.M., Nixon P.R., Richardson A.J. Light reflectance and remote sensing of weeds in agro-nomic and horticultural crops // Weed Science. – 1985. – № 33(4). – С. 569-581 (doi: 10.1017/S0043174500082862).
4. Захарян Ю.Г., Комаров А.А. Перспективы использования геостатистики для анализа состояния растений по данным дистанционного зондирования Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2019. – № 3. Т. 16. – С. 140-148. (doi: 10/21046/2070-7401-2019-16-3-140-148).
5. Thorp K., Tian L.F. A review on remote sensing of weeds in agriculture // Precision Agriculture. – 2004. – № 5(5). – С. 477-508 (doi: 10.1007/s11119-004-5321-1).
6. Diker K., Heermann D. F., Bordahl M. K. Frequency analysis of yield for delineating yield response zones // Precision Agriculture – 2004. – № 5. – С. 435-444 (doi: 10.1007/s11119-004-5318-9).
7. Комаров А.А., Комаров А.А. Оценка состояния травостоя с помощью вегетационного индекса NDVI // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 2 (51). – С. 124-129.
8. [Электронный ресурс]: URL: <https://studylib.ru/doc/638115/rekomendacii-po-proizvodstvu-i-zagotovke-> (дата обращения: 18.03.2021).
9. Донских Н.А. Научное обоснование приемов создания долголетних укосных травостоев на Северо-Западе России: дис...докт.с.-х. наук. – СПб, 1998. – 249 с.
10. Комаров А.А., Суханов П.А. О мониторинге плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения в условиях Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2010. – № 21. – С. 11-17.
11. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения (под ред. Л.М. Державина, Д.С. Булгакова). – М., 2003. – 240 с.
12. Комаров А.А., Суханов П.А., Кирсанов А.Д. Тестовые мониторинговые полигоны как инструмент для идентификации данных дистанционного зондирования земли // Применение средств дистанционного зондирования земли в сельском хозяйстве: сб. науч. тр. – СПб., 2018. – С. 139-145.
13. Комаров А.А., Мунтян А.Н., Суханов П.А. Выбор информативных показателей дистанционного зондирования состояния растительного покрова // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 3 (52). – С. 64-70.
14. Малашин С.Н. Влияние ассоциативных азотфиксирующих микроорганизмов на продуктивность овсяницы красной на Северо-Западе РФ: дис...канд. с.-х. наук. – СПб., 2009. – 101 с.

### References

1. Savin, I.Yu and Simakova, M. S. (2012), "Sputnikovyte tekhnologii dlya inventarizacii i monitoringa pochv v Rossii", *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, vol 9, no 5, pp. 104-115.

2. Bastiaanssen, W.G.M., Noordman, E.J.M., Pelgrum, H., Davids, G., Thoreson, B.P. and Allen, R.G. (2005), "SEBAL model with remotely sensed data to improve water resources management under actual field conditions", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, vol (1), no 131, pp. 85-93.
3. Menges, R.M., Nixon, P.R. and Richardson, A.J. (1985). "Light reflectance and remote sensing of weeds in agro-nomic and horticultural crops", *Weed Science*, vol 4, no 33, pp. 569-581.
4. Zaharyan, Yu.G. and Komarov, A.A. (2019), "Perspektivy ispol'zovaniya geostatistiki dlya analiza sostoyaniya rastenij po dannym distancionnogo zondirovaniya Zemli", *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, vol 16, no 3, pp.140-148.
5. Thorp, K. and Tian, L.F. (2004), "A review on remote sensing of weeds in agriculture, *Precision Agriculture*, vol 5, no 5, pp. 477-508.
6. Diker, K., Heermann, D. F. and Bordahl, M. K. (2004), "Frequency analysis of yield for delineating yield response zones", *Precision Agriculture*, no 5, pp. 435-444.
7. Komarov, A.A. and Komarov A.A. (2018), "Ocenka sostoyaniya travostoya s pomoshch'yu vegetacionnogo indeksa NDVI", *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol 51, no 2, pp.124-129.
8. [Elektronnyj resurs]: URL<https://studylib.ru/doc/638115/rekomendacii-po-proizvodstvu-i-zagotovke> (data obraschenia: 18/03/2021)
9. Donskih, N.A. (1998), Scientific justification of methods for creating long-term mowing grass stands in the North-West of Russia. Ph.D: Thesis, SPbGAU, SPb.-Pushkin (In Russia)
10. Komarov, A.A. and Suhanov, P.A. (2010), "O monitoringe plodorodiya pochv zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya v usloviyah Leningradskoj oblasti", *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*, no 21, pp.11-17.
11. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu kompleksnogo monitoringa plodorodiya pochv zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya" (2003), Moscow, 240 s.
12. Komarov, A.A., Suhanov, P.A. and Kirsanov A.D. (2018), "Test monitoring polygons as a tool for identifying remote sensing data", *V Sbornike: Primenenie sredstv distancionnogo zondirovaniya zemli v sel'skom hozyajstve*. pp. 139-145.
13. Komarov, A.A., Muntyan, A.N. and Suhanov, P.A. (2018). "Selection of informative indicators for remote sensing of the state of vegetation cover", *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 52, no 3, pp. 64-70.
14. Malashin S.N. (2009), Influence of associative nitrogen-fixing microorganisms on the productivity of red fescue in the North-West of the Russian Federation, Ph.D: Thesis, SPbGAU SPb.-Pushkin (In Russia)

#### Сведения об авторах

**Андрей Алексеевич Комаров** – доктор сельскохозяйственных наук, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Агрофизический научно-исследовательский институт», spin-код: 3522-3694, Scopus Autor ID: 7103383300, Researcher ID C-4382-2017

**Андрей Дмитриевич Кирсанов** – соискатель, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Агрофизический научно-исследовательский институт», spin-код: 2601-7331

**Сергей Николаевич Малашин** – кандидат сельскохозяйственных наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Академия менеджмента и агробизнеса, spin-код: 2276-6187

#### Information about the authors

**Andrey A. Komarov** – Doctor of agricultural sciences, Federal State Budgetary Scientific Institution «Agrophysical Research Institute», spin-code: 3522-3694, Scopus Autor ID: 7103383300, Researcher ID C-4382-2017

**Andrey D. Kirsanov** – Applicant, Federal State Budgetary Scientific Institution «Agrophysical Research Institute», spin-code: 2601-7331

**Sergey N. Malashin** – Candidate of agricultural sciences, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «St. Petersburg State Agrarian University», Academy of Management and Agribusiness, spin-code: 2276-6187

**Авторский вклад.**

Комаров А.А. (идея, написание статьи, научное редактирование текста);

Кирсанов А.Д. (анализ данных ДЗЗ, дешифровка снимков);

Малашин С.Н. (сбор и обработка материалов, оценка состояния посевов для кормопроизводства).

**Конфликт интересов.**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, поскольку все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

**Author's contribution.**

Komarov A.A. (idea, article writing, scientific text editing);

Kirsanov A.D. (remote sensing data analysis, image decryption);

Malashin S.N. (collection and processing of materials, assessment of the state of crops for feed production).

**Conflict of interest.**

The authors declare that there is no conflict of interest, since all the authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

All the authors of this article have read and approved the final version presented.

*Статья поступила в редакцию 4.04.2021 г.; одобрена после рецензирования 30.04.2021 г.; принята к публикации 11.05.2021 г.*

*The article was submitted 4.04.2021; approved after reviewing 30.04.2021; accepted after publication 11.05.2021.*

Научная статья

УДК 635.152

doi: 10.24412/2078-1318-2021-2-29-38

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СОРТОВ РЕДИСА В ВЕСЕННЕ-ЛЕТНЕМ ОБОРОТЕ

Азрет Муазинович Улимбашев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2, Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия; ulimbashiev\_a@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2882-1866>

**Реферат.** Перед овощеводством стоит важная задача – обеспечить население свежими, экологически безопасными овощами в широком ассортименте. Редис в числе многих других овощных культур способствует решению этой проблемы. Короткий вегетационный период, простота приемов выращивания, разнообразие сортов позволяют получать корнеплоды в самые различные сроки.

В последние годы в нашей стране возросло производство корнеплодных растений, которые обладают пищевой и лечебной ценностью, обусловленной их химическим составом и сочетанием разнообразных витаминов.

Реализация максимальной продуктивности культуры с минимальными затратами на производство может быть осуществлена оптимальными приемами выращивания, и одним из способов является подбор сортов.

Трудность возделывания сортов редиса определяется их биологическими особенностями и, прежде всего, реакцией растений на увеличение светового дня. Принимая во внимание, что Ленинградская область находится в резко-континентальном климате с коротким вегетационным периодом и длинным световым днем, эта проблема наиболее острая.

Ориентирование земледелия на биологизацию, появление новых сортов, особенности климатических условий требуют корректировки существующих общих приемов выращивания корнеплодных растений семейства Капустных.

Подбор сортов, слабо реагирующих на увеличение светового дня, основанный на изучении особенностей роста и развития культур в условиях Ленинградской области, является актуальным и позволяет получать высококачественную продукцию.