

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ПАСТБИЩ
ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ОВЕЦВ.И. ТРУХАЧЕВ¹, С.А. ОЛЕЙНИК²,
Т.С. ЛЕСНЯК², Д.Б. ЛИТВИН², А.В. ЛЕСНЯК²

(¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева
² Ставропольский государственный аграрный университет)

Рассмотрены перспектива применения и стремительное развитие современных спутниковых систем и технологий наблюдения в пастбищном животноводстве. Представлены основные возможности построения прогностической модели для планирования продуктивности пастбищного травостоя на основании многофакторного анализа по данным дистанционного зондирования. Полученные данные позволяют составить технологическую карту выпаса животных. В настоящее время данные, полученные с сервисов, где представлена возможность спутникового наблюдения, а также связанные с ним наблюдения помогают решить задачи, связанные с получением достоверной и объективной информации о состоянии сельскохозяйственных земель и возможности их производственного использования. Для решения поставленных задач стремительно разрабатываются и внедряются специализированные информационные системы и модели различного уровня прогнозирования продуктивности используемых земель и продуктивности пастбищных животных. В качестве экспериментальных данных о текущем состоянии пастбищных участков в наших исследованиях использовались мультиспектральные снимки космических спутников дистанционного зондирования Земли Copernicus Sentinel-2 Европейского космического агентства (ESA). Анализ полученных данных позволил выявить взаимосвязь между продуктивностью пастбищных угодий и индексом NDVI, который получен дистанционным методом со спутниковых сервисов и проверенным контактным методом при проведении полевых испытаний. Также были проведены исследования химического состава и питательной ценности кормовых пастбищных растений. Полученные данные позволили произвести учет выхода питательных веществ и энергии с 1 м². После проведенного зоотехнического учета живой массы животных контрольных групп было установлено, что живая масса овец, выпасавшихся на пастбище № 1, статистически достоверно превосходила на 6,2% данный показатель у животных, выпасавшихся на пастбище № 2. Благодаря полученным результатам были составлены рекомендации с обоснованием оптимального использования пастбищных участков согласно климатическим периодам, основанные на применении цифровых методов дистанционного мониторинга.

Ключевые слова: дистанционный мониторинг, спутниковый сервис, вегетационный индекс, пастбищные корма, химический состав кормов, питательная ценность, пастбищные животные.

Введение

Дистанционный метод изучения территорий сельскохозяйственного назначения является эффективным направлением аэрокосмического мониторинга. Решение ряда вопросов возникающих в технологических процессах и требующих, как

правило, дополнительных ресурсов и затрат возможно по снимкам, полученным при использовании результатов спутникового мониторинга, находящихся на специализированных сервисных сайтах [8].

Естественные пастбищные угодья являются источником биологически ценных кормов из дикорастущих трав (пастбища и сенокосы) и играют важнейшую роль в развитии ускоренного пастбищного животноводства [10].

Повышенная нагрузка, обуславливающаяся абиотическими и биотическими, в том числе антропогенными факторами экологии, приводит к количественному и качественному изменению кормовых травостоев, что в дальнейшем вызывает изменение не только их продуктивности, но и видового состава [1]. В связи с этим для ускоренного и эффективного развития пастбищного животноводства требуется проведение своевременного анализа статуса естественных кормовых угодий. Для оценки этого показателя в большинстве случаев проводят геоботанические обследования наземными методами, способными обеспечить на регулярной основе получение достоверной информации [4, 5].

В сложившихся реалиях инновационные дистанционные методы, а именно космические технологии, все более широко имплементируются в аграрный сектор. Среди основных направлений выделяются технологии точного земледелия, инновационные интернет-серверы АПК, системы мониторинга изменяющихся компонентов состава почвы и учета расходных материалов [7].

Адаптивные системы наиболее активно имплементируются в мелкомасштабное сельское хозяйство и пастбищное животноводство [3, 13].

В последнее время научную популярность получили методики дистанционной оценки состояния естественных травяных и сельскохозяйственных угодий на основе применения нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI [6, 15].

Общепризнанным считается, что вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – это нормализованный относительный индекс растительности, который является одним из наиболее изученных и достаточно простым показателем количества фотосинтетически активной биомассы. Этот индекс вычисляется как соотношение величин по поглощению и отражению растениями лучей красной и ближней инфракрасной зоны спектра. Как правило, значения индекса для растительности находятся в диапазоне от 0,20 до 0,95. Показатель индекса NDVI имеет наибольшие величины во время вегетации растительности.

Таким образом, применение вегетационного индекса NDVI позволяет количественно оценить развитие зеленой массы растений во время вегетации.

Исследования А. Bernardi показывают, что использование спутниковых систем для оценки продуктивности пастбищ создает возможность для выявления взаимосвязи вегетационного индекса и физико-химического состояния почвы [14]. В связи с этим целью исследований явилась разработка инновационной модели ведения пастбищного животноводства. В задачи исследований входило проведение ряда экспериментальных работ по наземному мониторингу питательной ценности состава пастбищных кормов с сочетанием цифровых дистанционных технологий и телеметрии.

Работы выполнены при финансовой поддержке Министерства сельского хозяйства Российской Федерации и продолжаются по настоящее время в рамках гранта Российского научного фонда № 22–26–20112, <https://rscf.ru/project/22–26–20112/>.

Материал и методы исследований

Траву с изучаемых пастбищных участков собирали в период выпаса животных и анализировали по общепринятым методикам. Химический состав кормов (сырой протеин, сырая клетчатка, сырой жир, сырая зола, кальций, фосфор) и влагу определяли на оборудовании фирм INGOS (Чехия), FIBREThERM (Германия), VELD SCIENTIFICA (Италия) в лаборатории НТЦ «Корма и обмен веществ» (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.21ПУ12 от 28.10.2014 г.).

Группы животных для проведения исследований формировали по принципу пар-аналогов из молодняка группы откорма овец породы джалгинский меринос. Количество молодняка овец на откорме в каждой группе составило 100 гол., возраст животных – 6 мес. Контрольный период выращивания подопытных животных составил 60 дней.

В исследованиях группы овец выпасались на пастбищах, ботанический состав которых состоял из бобово-злаковых растений (25:75%): *onobrychis*, *medicago*, *festuca pratensis*, *lolium perenne*. Определение живой массы подопытного молодняка проводили стандартным зоотехническим методом путем контрольных взвешиваний. Изучение пастбищных экосистем проводилось контактным методом (отбор кормовых трав на химический анализ, замер NDVI ручным датчиком Green Seeker) и с применением данных, полученных на спутниковом сервисе. Для достоверной оценки исследуемых показателей о текущем состоянии пастбищного травостоя применялись мультиспектральные снимки, полученные со спутниковых сервисов Sentinel-2 Европейского космического агентства (ESA). Данные спутники предоставляют временной отрезок 5 дней и пространственное разрешение от 10 до 60 м в зависимости от выбранного спектрального диапазона. Вычисление индекса NDVI выполнялось с помощью инструментов в программе QGIS.

Результаты и их обсуждение

Разница значения индекса NDVI пастбищного травостоя в группах, на которых выпасались подконтрольные животные, на протяжении пастбищного периода составила 0,11. На пастбище № 1 вегетационный индекс за изучаемый период находился на уровне 0,39, на пастбище № 2 – на уровне 0,28. В зависимости от значения индекса NDVI питательная ценность пастбищных кормов находилась на разных уровнях (рис. 1).

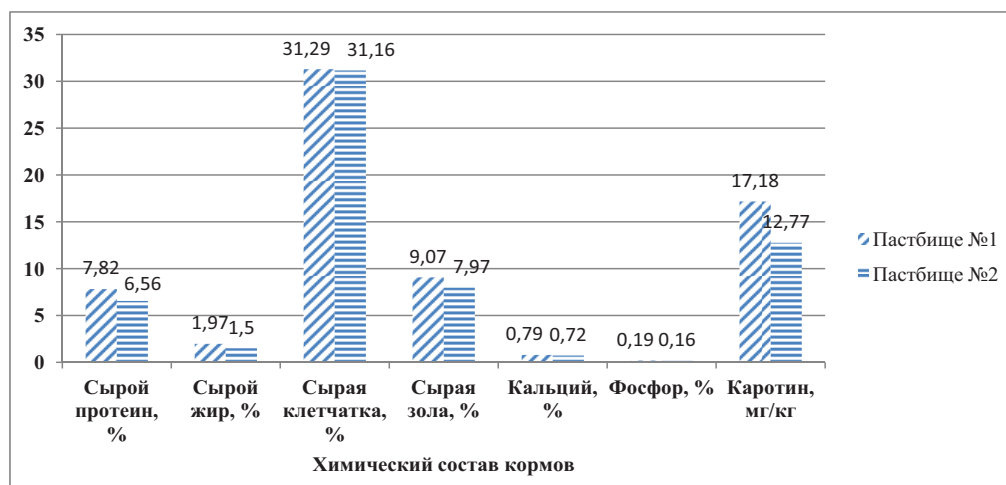


Рис. 1. Химический состав пастбищных кормов, %

В ходе проведенного исследования было выявлено, что травостой пастбища № 1 по химическому составу превосходил травостой пастбища № 2, а именно: по содержанию сырого протеина – на 1,26 п.п.; сырого жира – на 0,47 п.п.; сырой золы – на 1,1 п.п.; кальция – на 0,07 п.п.; фосфора – на 0,03 п.п.; каротина – на 4,41 мг/кг соответственно.

Проведенные лабораторные исследования химического состава пастбищных растений, используемых в качестве кормов для пастбищных животных, а также их питательной ценности дали возможность оценить выход питательных веществ и биоэнергии с 1 м². По итогам зоотехнического учета прироста живой массы животных контрольных групп было установлено, что живая масса овец, выпасавшихся на пастбище № 1, статистически достоверно больше на 6,2% данного показателя у овец, выпасавшихся на пастбище № 2.

Применение дистанционного зондирования в точном земледелии началось с использования спутниковых изображений Landsat открытой поверхности почвы для оценки пространственных закономерностей распределения органического вещества в почве [2, 12].

В задачу исследований входило установление закона статистической связи между параметрами дистанционного зондирования – такими, как, с одной стороны, NDVI, и показателями продуктивности пастбищ, биомассой и питательностью – с другой стороны.

На рисунке 2 представлены временные ряды индекса NDVI в относительных единицах и биомассы растительного покрова, кг/м². Значения указанных параметров отсчитываются по общей вертикальной шкале, но в разных единицах измерения.

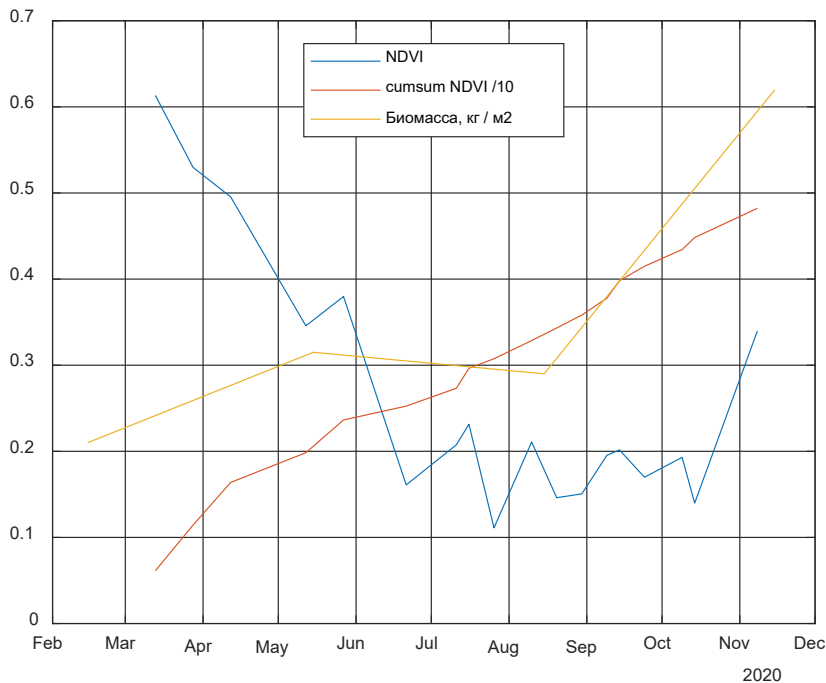


Рис. 2. Временные ряды показателей NDVI, cumsum NDVI и биомассы растительного покрова, кг/м²

При рассмотрении полученных значений индекса NDVI и биомассы растительного покрова визуально наличие статистической связи не наблюдалось.

Данное заключение подтверждается также и компьютерными экспериментами с применением различных модельных регрессий. Временной ряд NDVI достаточно хорошо аппроксимируется полиномом 2-го порядка, в то время как биомасса имеет выраженную линейную тенденцию. Последнее имеет логическое биологическое объяснение, выражающееся в накоплении биомассы в течение сезона [11].

Для учета накопительной природы результативного признака – биомассы – в модели наряду со значением NDVI в качестве второго факторного признака предлагается использовать его накапливаемую сумму (Cumulative sum of elements) – cumsum NDVI. Этот параметр при строгой периодичности наблюдений с точностью до постоянного множителя является интегралом от значений NDVI. Временной ряд cumsum NDVI с уменьшенными в 10 раз значениями также представлен на рисунке 2.

Модель является статистически значимой и достаточно адекватно аппроксимирует наблюдаемый временной ряд. В связи с этим ее можно применять для оценки прогнозных значений результативных признаков пастбищ, а именно биомассы, на основе рассмотренной выше модели множественной регрессии.

На рисунке 3 представлены результаты фактического наблюдения (Y observ), оценки по модели (Y estim) и прогнозного моделирования (Y predict) результативного признака – биомассы растительного покрова, кг/м², с 95%-ными доверительными границами (95% confidence bounds).

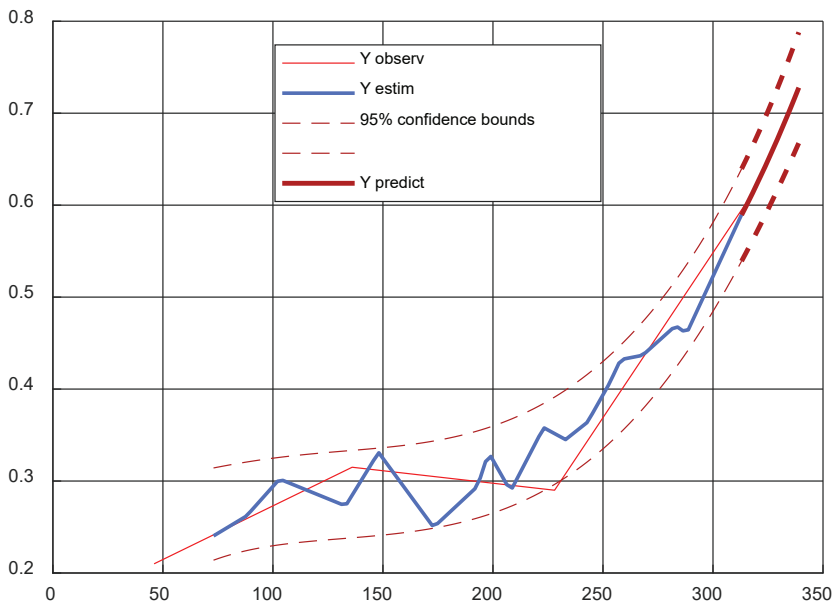


Рис. 3. Результаты прогнозного моделирования биомассы растительного покрова, кг/м²

При построении прогностической модели для планирования продуктивности пастбищного травостоя на основании многофакторного анализа стоит уделять внимание доверительным границам возможных значений. На рисунке 3 отражена прогностическая динамика роста вегетационного индекса, и как следствие – увеличение биомассы растительного покрова без выхода за доверительные границы, что позволяет сделать вывод о достоверности прогноза.

Выводы

В результате полученных данных можно сделать вывод о том, что предлагаемая инновационная модель пастбищного животноводства открывает возможности для оценки больших пастбищных участков размерами в несколько тысяч га. По итогам полученных данных возможно составление экономически эффективной технологической карты выпаса животных.

Библиографический список

1. *Абросимов А.В.* Перспективы применения данных ДЗЗ из космоса для повышения эффективности сельского хозяйства в России // *Геоматика*. – 2009. – № 4. – С. 46–49.
2. *Блохина С.Ю.* Применение дистанционного зондирования в точном земледелии // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. – 2018. – № 5. – С. 10–16.
3. *Бутрова Е.В.* Дистанционное зондирование для решения задач управления сельским хозяйством в условиях глобальной цифровизации экономики / Е.В. Бутрова, Ю.В. Денисов, Д.В. Ковков, А.Е. Скляр // *Экономика и управление: проблемы, решения*. – 2019. – Т. 11, № 2. – С. 95–105.
4. *Глазунова Н.П.* Беспилотные системы в АПК / Н.П. Глазунова, Т.А. Марынова, Р.Н. Бахтиев // *Аграрные конференции*. – 2019. – № 4 (16). – С. 15–20.
5. *Ивановская В.В.* Применение ГИС-технологий для оптимизации сельскохозяйственного природопользования / В.В. Ивановская, Е.И. Голубева, А.В. Труфанов // *Проблемы региональной экологии*. – 2020. – № 5. – С. 36–41.
6. Что такое NDVI. Специализированный сайт компании ExactFarming (аккредитованная ИТ-компания, номер записи в Реестре – 10468. – URL: <https://exactfarming.com/ru/o-chem-rasskazhet-ndvi/>).
7. Как космические технологии помогают сельскому хозяйству. – URL: <https://www.sovzond.ru>] (дата обращения: 09.10.2020).
8. *Кантемиров Ю.И.* Возможности спутникового радиолокационного мониторинга для решения задач сельского хозяйства // *Геоматика*. – 2011. – № 2. – С. 85–89.
9. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации // Разработка инновационных методических подходов по применению современных цифровых технологий дистанционного мониторинга и зондирования в пастбищном животноводстве – URL: <https://apknet.ru/pastbishchnom-zhivotnovodstve/> (дата обращения: 20.12.2021).
10. *Письман Т.И.* Определение сезонной динамики урожайности агроценозов на основе спутниковой информации и математической модели / Т.И. Письман, И.Ю. Ботвич, А.Ф. Сидько // *Известия Российской академии наук. Серия «Биологическая»*. – 2014. – № 2. – С. 196.
11. *Сыч А.С.* Применение аэрофотосъемки с применением мультиспектральной камеры в комплексе с нейросетью в сельском хозяйстве / А.С. Сыч, В. Балык, А.И. Поляков, А.В. Карталов // *Chronos*. – 2019. – № 9 (36). – С. 26–28.
12. *Чутчева Ю.В.* Цифровые трансформации в сельском хозяйстве / Ю.В. Чутчева, Ю.С. Коротких, А.А. Кирица // *Агроинженерия*. – 2021. – № 5 (105). – С. 53–58.
13. *Якушев В.П.* Информационное обеспечение современных систем земледелия в России / В.П. Якушев, В.В. Якушев, С.Ю. Блохина, Ю.И. Блохин, Д.А. Матвеев // *Вестник Российской академии наук*. – 2021. – Т. 91, № 8. – С. 755–768.

14. Bernardi A.C. (2017). Spatial variability of vegetation index and soil properties in an integrated crop-livestock system / A.C. Bernardi de C.R. Grego, R.G. Andrade, L.M. Rabello, & R.Y. // Inamasu Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. – 2017. – № 21 (8). – Pp. 513–518.

15. Prasad S. Smith and Eddy De Pauw. Hyperspectral vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics / S. Prasad, Thenkabail B. Ronald // Remote sensing environmental. – Pp. 158–182.

REMOTE SENSING OF PASTURES TO PREDICT SHEEP PRODUCTIVITY

V.I. TRUKHACHEV¹, S.A. OLEYNYK²,
T.S. LESNYAK², D.B. LITVIN³, A.V. LESNYAK²

(¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; ² Stavropol State Agrarian University)

This article discusses the prospects for the use and rapid development of modern satellite systems and observation technologies in pasture farming. The main possibilities of constructing a predictive model for planning the productivity of pasture herbage on the basis of multivariate analysis of remote sensing are presented. The obtained data are used to build a technological map of animal grazing. Currently, the data obtained as a result of satellite observation and associated technologies are increasingly used in tasks related to obtaining reliable objective information about the state of agricultural land and the possibility of their industrial use. To solve the set tasks, specialized information systems and models of various levels of predicting the productivity of the land used and the productivity of pasture animals are rapidly being developed and implemented. As objectively observable data on the current state of pastures in our studies, we used multispectral images of the Copernicus Sentinel-2 Earth remote sensing satellite of the European Space Agency (ESA). The data obtained made it possible to establish the relationship between the productivity of rangelands and the vegetation index obtained by the remote method and verified by the contact method during field trials. Studies of the chemical composition and nutritional value of forage grazing plants made it possible to assess the yield of nutrients and energy from 1 m². According to the results of accounting for the live weight of the controlled animals, it was found that the live weight of sheep grazed on pasture No. 1 statistically significantly exceeded this indicator by 6.2% in analogues that were grazed on pasture No. 2. Based on the results obtained, recommendations were made to substantiate the periods of optimal use of pasture areas, based on the use of digital methods of remote monitoring.

Key words: remote monitoring, satellite service, vegetation index, pasture forages, chemical composition of forages, nutritional value, grazing animals.

References

1. Abrosimov A.V. Perspektivy primeneniya dannykh DZZ iz kosmosa dlya povyshe-niya effektivnosti sel'skogo khozyaystva v Rossii [Prospects for the use of remote sensing data from space to improve the efficiency of agriculture in Russia]. Geomatika. 2009; 4: 46–49. (In Rus.)

2. Blokhina S.Yu. Primenenie distantsionnogo zondirovaniya v tochnom zemlede-lyi [The use of remote sensing in precision agriculture]. Vestnik rossiyskoy sel'skokho-zyaystvennoy nauki. 2018; 5: 10–16. (In Rus.)

3. Butrova E.V., Denisov Yu.V., Kovkov D.V., Sklyarov A.E. Distantsionnoe zondiro- vanie dlya resheniya zadach upravleniya sel'skim khozyaystvom v usloviyakh global'noy

tsifrovizatsii ekonomiki [Remote sensing for solving problems of agricultural management in the context of global digitalization of the economy]. *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya*. 2019; 11; 2: 95–105. (In Rus.)

4. *Glazunova N.P., Marynova T.A., Bakhtiev R.N.* Bespilotnye sistemy v APK [Unmanned systems in the agro-industrial sector]. *Agrarnye konferentsii*. 2019; 4 (16): 15–20. (In Rus.)

5. *Ivanovskaya V.V., Golubeva E.I., Trufanov A.V.* Primenenie GIS-tekhnologiy dlya optimizatsii sel'skokhozyaystvennogo prirodopol'zovaniya [Application of GIS-technologies for optimization of agricultural nature management]. *Problemy regional'noy ekologii*. 2020; 5: 36–41. (In Rus.)

6. Chto takoe NDVI. [What is NDVI]. Specialized website of ExactFarming company (accredited IT company, registry entry number – 10468). URL: <https://exactfarming.com/ru/o-chem-rasskazhet-ndvi/> (Access date: 10.06.2022) (In Rus.)

7. Kak kosmicheskie tekhnologii pomogayut sel'skomu khozyaystvu [How space technologies help agriculture]. [Electronic source]. URL: <https://www.sovzond.ru> (Access date: 10.06.2022) (In Rus.)

8. *Kantemirov Yu.I.* Vozmozhnosti sputnikovogo radiolokatsionnogo monitoringa dlya resheniya zadach sel'skogo khozyaystva [Possibilities of satellite radar monitoring for solving problems of agriculture]. *Geomatika*. 2011; 2: 85–89. (In Rus.)

9. Razrabotka innovatsionnykh metodicheskikh podkhodov po primeneniyu sovremennykh tsifrovyykh tekhnologiy distantsionnogo monitoringa i zondirovaniya v pastbishchnom zhivotnovodstve. Ministerstvo sel'skogo khozyaystva rossiyskoy federatsii [Development of innovative methodological approaches to the use of modern digital technologies for remote monitoring and sensing in pasture animal husbandry. Ministry of Agriculture of the Russian Federation]. [Electronic source]. URL: <https://apknet.ru/pastbishchnom-zhivotnovodstve/> (Access date: 20.12.2021) (In Rus.)

10. *Pis'man T.I., Botvich I.Yu., Sid'ko A.F.* Opredelenie sezonnoy dinamiki urozhaynosti agrotsenozov na osnove sputnikovoy informatsii i matematicheskoy modeli [Determination of the seasonal dynamics of the productivity of agrocenoses on the basis of satellite information and a mathematical model]. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya biologicheskaya*. 2014; 2: 196. (In Rus.)

11. *Sych A.S., Balyk V., Polyakov A.I., Kartalov A.V.* Primenenie aerofotos'yomki s primeneniem mul'tispektral'noy kamery v komplekse s neyroset'yu v sel'skom khozyaystve [Application of aerial photography using a multispectral camera in combination with a neural network in agriculture]. *Chronos*. 2019; 9 (36): 26–28. (In Rus.)

12. *Chutcheva Yu.V., Korotkikh Yu.S., Kiritsa A.A.* Tsifrovye transformatsii v sel'skom khozyaystve [Digital transformations in agriculture]. *Agroinzheneriya*. 2021; 5 (105): 53–58. (In Rus.)

13. *Yakushev V.P., Yakushev V.V., Blokhina S.Yu., Blokhin Yu.I., Matveenko D.A.* Informatsionnoe obespechenie sovremennykh sistem zemledeliya v Rossii [Information support of modern farming systems in Russia]. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*. 2021; 91; 8: 755–768. (In Rus.)

14. *Bernardi A.C. de C., Grego C.R., Andrade R.G., Rabello L.M., Inamasu R.Y.* Spatial variability of vegetation index and soil properties in an integrated crop-livestock system. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2017; 21(8): 513–518.

15. *Prasad S., Thenkabail, Ronald B. Smith, Eddy De Pauw* Hyperspectral vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics. *Remote sensing environmental*. 71; 158–182.

Трухачев Владимир Иванович, ректор ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», д-р с.-х. наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» (127422, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, e-mail: rector@rgau-msha.ru.; тел.: (499) 976–12–96).

Олейник Сергей Александрович, профессор кафедры частной зоотехнии, селекции и разведения животных ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», д-р с.-х. наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение высшего образования «Ставропольский государственный аграрный университет» (355017, Российская Федерация, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12; e-mail; тел.: (918) 770–31–72).

Лесняк Татьяна Сергеевна, доцент кафедры кормления животных и общей биологии ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», канд. с.-х. наук, Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение высшего образования «Ставропольский государственный аграрный университет» (355017, Российская Федерация, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12; e-mail: alexandrova_026@inbox.ru; тел.: (962) 460–42–09).

Литвин Дмитрий Борисович, доцент кафедры математики ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», канд. техн. наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение высшего образования «Ставропольский государственный аграрный университет» (355017, Российская Федерация, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12; e-mail: litvin-372@yandex.ru; тел.: (918) 793–14–86).

Лесняк Артем Васильевич, лаборант лаборатории молекулярно-генетической экспертизы, Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение высшего образования «Ставропольский государственный аграрный университет» (355017, Российская Федерация, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12; e-mail: lesnyak.artem@mail.ru; тел.: (988) 088–61–81).

Vladimir I. Trukhachev, Rector of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, RAS Academician (Full Member), DSc (Ag), Professor, DSc (Ec), Professor (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976–12–96; E-mail: rector@rgau-msha.ru).

Sergey A. Oliynyk, DSc (Ag), Professor, the Department of Private Animal Science, Breeding and Selection of Animals, Senior Research Associate, Stavropol State Agrarian University (12 Zootekhnicheskij Lane, Stavropol, 355017, Russian Federation; phone: (918) 770–31–72; E-mail: solinyk60@gmail.com).

Tatyana S. Lesnyak, PhD (Ag), Associate Professor, the Department of Feeding of Animals and General Biology, Stavropol State Agrarian University (12 Zootekhnicheskij Lane, Stavropol, 355017, Russian Federation; phone: (962) 460–42–09; E-mail: alexandrova_026@inbox.ru).

Dmitry B. Litvin, PhD (En), Associate Professor, the Department of Mathematics, Stavropol State Agrarian University (12 Zootekhnicheskij Lane, Stavropol, 355017, Russian Federation; phone: (918) 793–14–86.; E-mail: litvin-372@yandex.ru).

Artem V. Lesnyak, laboratory assistant, the Laboratory of Molecular Genetic Expertise, Stavropol State Agrarian University (12 Zootekhnicheskij Lane, Stavropol, 355017, Russian Federation; phone: (988) 088–61–81; E-mail: lesnyak.artem@mail.ru).