

вития информационных технологий и доступности материалов космической съёмки будет возрастать. Так, объективная оценка состояния агроландшафтов позволяет разрабатывать эффективные направления их дальнейшего использования и меры по предотвращению развития негативных процессов. Разработка моделей продуктивности агроландшафтов на базе данных дистанционного зондирования Земли позволяет с высокой степенью достоверности прогнозировать будущий урожай, который является основным фактором, оказывающим влияние на продовольственную безопасность России.

### Литература

1. Антонов С.А. Оценка развития процессов водной эрозии на территории агроландшафтов Ставропольского края и их влияние на продуктивность / С.А. Антонов, А.Н. Есаулко, М.С. Сигида [и др.] // Вестник АПК Ставрополья. 2018. № 1 (29). С. 67–72.
2. Кирюшин В.И. Основные принципы разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия // Земледелие. 1996. № 3. С. 42–44; № 4. С. 38–41.
3. Каштанов А.Н. Концепция ландшафтной контурно-мелиоративной системы земледелия // Земледелие. 1992. № 4. С. 2–4.
4. Шальнев В.А., Диденко П.А. К вопросу об изучении структуры агроландшафта // Вестник Ставропольского государственного университета. 1997. № 12. С. 37–43.
5. Руководство пользователя QGIS 2.0. М.: Изд-во «Информационные системы», 2014. 300 с.
6. Куссуль Н.Н. Регрессионные модели оценки урожайности сельскохозяйственных культур по данным MODIS / Н.Н. Куссуль, А.Н. Кравченко, С.В. Скакун [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 1. С. 95–107.
7. Лупян Е.А., Барталев С.А., Савин И.Ю. Технологии спутникового мониторинга в сельском хозяйстве России // Аэрокосмический курьер. 2009. № 6. С. 47–49.
8. Савин И.Ю. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе спутниковых данных: возможности и перспективы / И.Ю. Савин, С.А. Барталев, Е.А. Лупян [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 3. С. 275–285.
9. Лупян Е.А. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («ВЕГА») / Е.А. Лупян, И.Ю. Савин, С.А. Барталев [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 190–198.
10. Тикунов, В.С. Основы геоинформатики: в 2 кн. Кн. 1. Учебное пособие для студентов вузов. / Под ред. В.С. Тикунова. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 352 с.
11. Кулинцев В.В., Годунова Е.И., Желнакова Л.И. [и др.] Система земледелия нового поколения Ставропольского края: монография. Ставрополь, 2013. 520 с.
12. Антонов С.А. Методика определения структуры посевных площадей по данным космической съёмки // Бюллетень СНИИСХ. Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2017. № 9. С. 6–12.
13. Антонов С.А. Тенденции изменения климата и их влияние на земледелие Ставропольского края // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 4 (66). С. 43–46.

## Использование данных дистанционного зондирования земли для оценки состояния и степени деградации естественных пастбищных угодий

**Ф.В. Ерошенко, д.б.н., Н.Г. Лапенко, к.б.н., И.Г. Сторчак, к.с.-х.н., ФГБНУ Северо-Кавказский ФНАЦ**

Степная растительность является основным источником пастбищного корма. Естественные кормовые угодья занимают значительные площади на Ставрополье. Корма из дикорастущих трав — наиболее дешёвый источник энергии и протеина для животных и могут удовлетворять основные их потребности. Длительная перегруженность пастбищ животными в прошлом способствовала их трансформации во вторичные ценозы, понижению кормового достоинства и, как следствие, выпадению из них ценных кормовых бобовых и злаковых трав.

По запасам кормов природные угодья неоднородны и запросы животноводства в них удовлетворяются не всегда в достаточной мере. Основными факторами, непосредственно оказывающими действие на флору и растительность пастбищ, являются скотоводство и овцеводство. Хотя поголовье в общественном секторе с начала проведения экономических реформ сократилось практически в 8–10 раз, тем не менее численность поголовья КРС и овец в индивидуальном секторе достаточно велика, а площади кормовых угодий, расположенные близ населённых пунктов, как правило ограничены, что приводит к перегрузке присельских пастбищ.

В последние годы для оценки состояния и потенциальной урожайности посевов сельскохозяйственных культур стали использовать данные дистанционного зондирования земли (ДЗЗ). Спутниковые данные позволяют с высокой оперативностью и объективностью получать информацию об исследуемой территории, ограниченной соответствующими координатами [1, 2]. К сожалению, литературы по использованию ДЗЗ для характеристики естественных кормовых угодий мало. Поэтому целью нашего исследования было установить возможность использования данных дистанционного зондирования земли из космоса для характеристики состояния и степени деградации пастбищ.

**Материал и методы исследования.** При выполнении работы использовали комплексно-экспедиционные и камеральные методы исследования. Геоботаническое обследование природных кормовых угодий проводили на учётных площадках (станциях) размером 100 м<sup>2</sup>, в период массового роста и развития травостоя, что способствовало более полному выявлению флористического состава растительности, их типов и модификаций [3, 4]. Состояние природных угодий оценивали с использованием методических рекомендаций по выявлению деградированных и загрязнённых земель [5, 6].

Исследуемая нами территория охватывала ряд административных районов Ставропольского края, в их числе: Андроповский, Изобильненский, Красногвардейский, Шпаковский. По агроэкологическим и почвенным условиям эти районы относятся к зоне неустойчивого увлажнения.

Климатические условия зоны благоприятные для роста и развития основных видов растений пастбищных угодий: ГТК варьирует от 0,9 до 1,1, среднегодовое количество осадков составляет 450–550 мм. Сумма положительных температур за период активной вегетации достигает 3000–3400°. Территория зоны относится к Предкавказской почвенной провинции. В результате сложного взаимодействия климата, растительности, рельефа и почвообразующих пород сформировался почвенный покров зоны, который представлен преимущественно почвами чернозёмного типа [7, 8].

Каждый участок был оцифрован и по координатам получали данные дистанционного зондирования Земли из различных источников. Временные ряды значений нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) получены с помощью сервиса Vega (<http://pro-vega.ru/>) [9, 10] (спектрорадиометр MODIS, спутник Terra, пространственное разрешение 250 м). В работе также использовали открытые данные ДЗЗ, размещённые на сайте <https://remotepixel.ca/projects/index.html> (сканер Sentinel 2, пространственное разрешение 10 м²).

**Результаты исследования.** Для характеристики состояния и степени деградации выбранных участков нами были проведены экспедиционные геоботанические обследования (табл. 1, 2). Дана оценка природным кормовым угодьям, определены типы и модификации растительных группировок и степень их деградации.

Зональным (эталонным) типом растительности условно могут служить ковыльно-типчаково-разнотравные (пункт 1), ковыльно-черноголовниково-разнотравные (пункт 4) и типчаково-кострецово-разнотравные (пункт 6) степи, удалённые от населённых пунктов, сформировавшиеся в различных ландшафтных таксонах и находящиеся вне режима хозяйственного использования (невыпасаемые, некосимые) на период обследования. В их травостое доминируют такие многолетние злаки, как *Bromopsis inermis*, *Bromopsis riparia*, *Festuca rupicola*, *Festuca valesiaca*, *Koeleria cristata*, *Stipa pulcherrima*. Из бобовых встречаются *Amoria montana*, *Astragalus austriacus*, *Astragalus onobrychioides*, *Medicago romanica*, *Onobrychis inermis*, *Securigera varia*, *Vicia angustifolia*.

Флоро-ценотические показатели данных сообществ довольно стабильны: проективное покрытие – 100%, их флористическая насыщенность в пределах 100 м² в среднем составляет 40 видов.

Группа злаковых – создателей основной кормовой массы колеблется от 12,2 до 14,8% и отличается высокими показателями обилия (Sp3-Cop3). Бобовых содержится от 8,8 до 13,3%. Высока доля многолетников – 85,3–97,6%. В травостоях данного типа угодий важную роль играет дерновинный злак *Festuca valesiaca*.

Стойкость к перегрузкам при интенсивном отчуждении, выносливость к засушливым условиям, а также значительная продолжительность жизни одной особи (40–50 лет) и хорошие кормовые качества этого злака, наряду с видами ковылей, кострецов, келерии стройной, характеризуют данные угодья как весьма ценные. Т.е. травостои высокого кормового достоинства могут использоваться для выпаса животных или сенокосения. Биологический урожай данного типа растительности колебался от 22,0 до 31,2 ц/га возд. сух.

#### 1. Эколого-ценотические особенности степей зоны неустойчивого увлажнения Ставрополя

№ полигона	Пункт, административный район	Видов на 100 м²	Проективное покрытие, %	Тип растительности, модификация	Режим использования	Степень деградации
1	Сенгилеевское, Шпаковский р-н	45	100	ковыльно-типчаково-разнотравная	целина, нет выпаса	0 – недеградирующая
2	Московское, Изобильненский р-н	28	80	типчаково-тысячелистниково-разнотравная	присельское пастбище, выпасаемое	II – среднедеградирующая
3	Дмитриевское, Красногвардейский р-н	17	70	полюнно-разнотравная	присельское выпасаемое пастбище	III – сильнодеградирующая
4	Старая дорога, Изобильненский р-н	34	100	ковыльно-черноголовниково-разнотравная	целина, невыпасаемая	0 – недеградирующая
5	Кианкиз, Андроповский р-н	25	80	типчаково-пырейно-однолетниковая	присельское пастбище, выпасаемое	III – сильнодеградирующая
6	Н. Бешпагир, Шпаковский р-н	41	100	типчаково-кострецово-разнотравная	целина, невыпасаемая	0 – недеградирующая

Примечание: \* – в названиях типов и модификаций растительности на первом месте указан вид, доминирующий в травостое

## 2. Флористические особенности степей зоны неустойчивого увлажнения Ставрополья

№ полигона	Пункт, административный район	Видов на 100 м <sup>2</sup>	Флористическая группа, %			Жизненный цикл, %			Урожайность биологическая, ц/га
			злаки	бобовые	разнотравье	однолетники	двулетники	многолетники	
1	Сенгилеевское, Шпаковский р-н	45	13,3	13,3	73,4	4,4	2,2	93,4	31,2
2	Московское, Изобильненский р-н	28	14,3	14,3	71,4	10,7	10,7	78,6	13,8
3	Дмитриевское, Красногвардейский р-н	17	17,6	5,9	76,5	41,2	0,0	58,8	18,0
4	Старая дорога, Изобильненский р-н	34	14,8	8,8	76,4	11,8	2,9	85,3	22,0
5	Кианкиз, Андроповский р-н	25	28,0	16,0	56,0	32,0	8,0	60,0	20,4
6	Н. Бешпагир, Шпаковский р-н	41	12,2	12,2	75,6	0,0	2,4	97,6	29,2

массы. При пастбищном использовании таких угодий (отчуждение корма 80%) хозяйственный урожай составляет 17,6 и 25,0 ц/га, при сенокосном использовании (70% продуктивной массы) – 15,4 и 21,8 ц/га соответственно.

Иная ситуация сложилась на присельских пастбищах (пункты 2, 3, 5). Чрезмерная, интенсивная эксплуатация и отсутствие надлежащего ухода за ними в течение десятилетий привели к различным стадиям пастбищной деградации – типчаково-тысячелистниково-разнотравной, полынно-разнотравной, типчаково-пырейно-однолетниковой. Их особенность заключается в том, что из травостоев выпали ценные в кормовом отношении виды – *Agropyron pectinatum*, *Koeleria cristata*, виды *Stipa*, *Bromopsis*. Они сменились сорными и балластными видами, не имеющими хозяйственной пользы, а также и вредными в кормовом отношении – *Centaurea diffusa*, *Phlomis tuberosa*, *Lepidium rudemale*, *Bromus japonicus*, *Medicago minima*, *Echium vulgare*, *Euphorbia iberica*, *Salvia aethiops* и др. Активное распространение этих видов – следствие ослабления позиции степных злаков, экологические ниши которых заняли менее требовательные к условиям питания пастбищостойкие малолетники (до 40% и более), хорошо выдерживающие перегрузку кормовых угодий (пункты 2, 3, 5).

Данные растительные модификации, находясь под постоянным истощительным режимом хозяйственного использования, могут быть оценены как кормовые угодья с невысоким кормовым потенциалом. Их урожайность составляет 13,8–20,4 ц/га воздушно-сухой массы с высокой долей мало поедаемых и не поедаемых видов.

Таким образом, на основе результатов геоботанического обследования нами дана оценка современного состояния травостоев и выявлена степень их пастбищной дигрессии: Сенгилеевское (Шпаковский р-н), Старая дорога (Изобильненский р-н) и Нижний Бешпагир (Шпаковский р-н) – недеградированные (0); Московское (Изобильненский р-н) – среднедеградированные (II); Дмитриевское (Красногвардейский р-н) и Кианкиз (Андроповский р-н) – сильнодеградированные (III).

Мы проанализировали среднесезонные (2001–2017 гг.) данные сезонных изменений вегетационного индекса NDVI каждого полигона (рис. 1).

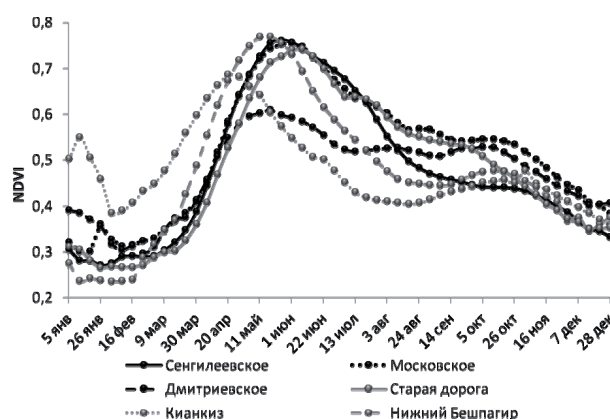


Рис. 1 – Сезонные изменения вегетационного индекса NDVI естественных угодий, в среднем за 2001–2017 гг.

Динамики этого показателя характеризуются явно выраженными максимумами значений в апреле – мае, а также в конце октября. Если первый – это отражение сформировавшегося наибольшего травостоя, то во втором отражается осеннее отрастание некоторых видов (в основном злаков) после снижения температуры воздуха до умеренных значений и улучшения влагообеспеченности за счёт сентябрьских и октябрьских дождей.

Литературные данные свидетельствуют о том, что максимальное значение NDVI является важной характеристикой состояния растительности, занимающей территорию определённой площади [11]. Наше исследование показало, что этот показатель слабо коррелирует с урожайностью (коэффициент корреляции составляет всего 0,46), а также не связан с показателем, отражающим деградационные явления выбранных полигонов (рис. 2).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что значения NDVI не могут в достаточно полной мере быть критерием деградированности природных травостоев. Поэтому нужны другие подходы в решении этой задачи. Мы предположили, что для этих целей может быть использован показатель доли площади полигона, занятой хорошо (либо плохо) развитой растительностью. Такое предположение допустимо, так как, с одной стороны, степень деградации естественных угодий определяется в том числе размерами части общей площади участка с плохо развитой или полностью отсутствующей

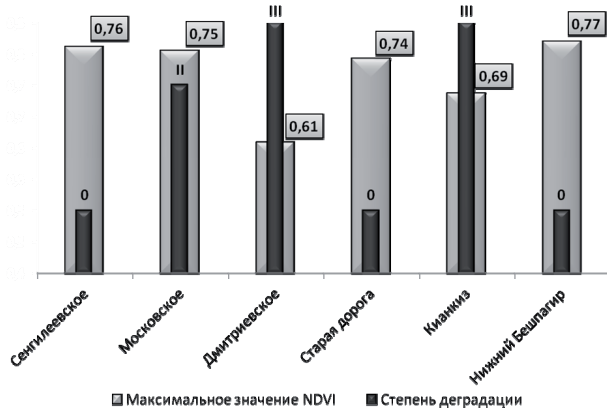


Рис. 2 – Максимальное значение NDVI и показатель степени деградации естественных угодий

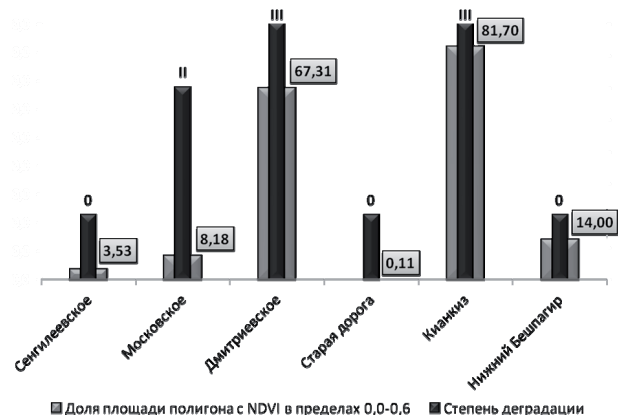


Рис. 3 – Доля площади полигона, занимаемого растительностью со значениями вегетационного индекса NDVI в пределах 0,0–0,6 в период максимального травостоя (%), и степень деградации естественных угодий

### 3. Доля площади полигона, занимаемого растительностью с определённым диапазоном значений вегетационного индекса NDVI в период максимального травостоя, %, по данным Sentinel-2

№ полигона	Диапазон значений NDVI									
	0,0–0,1	0,1–0,2	0,2–0,3	0,3–0,4	0,4–0,5	0,5–0,6	0,6–0,7	0,7–0,8	0,8–0,9	0,9–1,0
1				1,10	2,43	9,85	42,60	43,47	0,55	
2				1,42	6,76	54,98	36,83			
3		5,77	7,69	19,23	34,62	26,92	5,77			
4					0,11	0,63	7,46	8,93	82,88	
5			2,12	28,18	51,40	17,83	0,47			
6				2,87	11,13	53,87	28,30	3,83		

Примечание: 1 – Сенгилеевское, Шпаковский р-н; 2 – Московское, Изобильненский р-н; 3 – Дмитриевское, Красновардейский р-н; 4 – Старая дорога, Изобильненский р-н; 5 – Кианкиз, Андроповский р-н; 6 – Н. Бешагир, Шпаковский р-н

растительностью, а с другой – плохие условия роста и развития на деградированной части угодья ухудшают общее состояние растений, а также ведут к доминированию видов с плохо развитой биомассой, и, как правило, NDVI этой части пастбища существенно ниже, чем недеградированной. Поэтому для этих целей могут подойти данные дистанционного зондирования с высоким пространственным разрешением (табл. 3).

Анализ полученных данных показал, что сумма площадей полигонов с растительностью, у которой NDVI находится в пределах 0,0–0,6, очень хорошо отражает степень деградации естественных угодий (рис. 3).

**Вывод.** Данные дистанционного зондирования земли могут быть использованы для оценки состояния и степени деградации естественных пастбищных угодий. Для этих целей необходимо использовать спутниковые снимки с высоким пространственным разрешением.

### Литература

1. Лупян Е.А., Барталев С.А., Савин И.Ю. Технологии спутникового мониторинга в сельском хозяйстве России // Аэрокосмический курьер. 2009. № 6. С. 47–49.
2. Муратова Н.Р., Терехов А.Г. Опыт пятилетнего оперативного мониторинга сельскохозяйственных угодий Северного Казахстана с помощью спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2007. Т. 4. № 2. С. 277–283.
3. Методика изучения сенокосов и пастбищ / Ред. Конюшков Н.С., Работнов Т.А., Цаценкин И.А. М.: Сельхозиздат, 1972. 288 с.
4. Полевая геоботаника / Ред. Корчагин А.А. Т. 3. М.-Л., 1964. 530 с.
5. Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязнённых земель, утверждённые Роскомземом, Минприроды России, Минсельхозпродом России и согласованные с РАСХН. М., 1995. 23 с.
6. Работнов Т.А. К методике наблюдения над травянистыми растениями на постоянных площадках // Ботанический журнал. 1964. Т. 36. № 6. С. 47–50.
7. Агроклиматические ресурсы Ставропольского края. Л.: Гидрометиздат, 1971. 273 с.
8. Кулинцев В.В., Годунова Е.И., Желнакова Л.И. и др. Система земледелия нового поколения Ставропольского края: монография. Ставрополь: «Агрус», 2013. 520 с.
9. Лупян Е.А., Барталев С.А., Савин И.Ю. Технологии спутникового мониторинга в сельском хозяйстве России // Аэрокосмический курьер. 2009. № 6. С. 47–49.
10. Лупян Е.А. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («ВЕГА») / Е.А. Лупян, И.Ю. Савин, С.А. Барталев [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 190–198.
11. Сторчак И.Г. Прогноз урожайности озимой пшеницы с использованием вегетационного индекса NDVI для условий Ставропольского края: дисс. ... канд. с.-х. наук. Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2016.