



Оценка природных растительных сообществ с использованием данных дистанционного зондирования Земли в условиях степей Ставропольского края

Ф. В. Ерошенко , Н. Г. Лапенко, И. Г. Сторчак,
Е. А. Бильдиева, Р. Д. Костицын, М. А. Старостина
Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр
(г. Михайловск, Российская Федерация)

 yer-sniish@mail.ru

Аннотация

Введение. Актуальность исследования степных фитоценозов обусловлена неудовлетворительным состоянием природных травостоев: низким биоразнообразием и высокой степенью деградации. Цель работы – установить особенности связи данных дистанционного зондирования Земли с состоянием и степенью деградации естественных травостоев в различных почвенно-климатических зонах Ставропольского края. Данные дистанционного зондирования Земли с определенными временными и пространственными разрешениями позволяют осуществлять практически непрерывный мониторинг состояния природных травостоев.

Материалы и методы. Изучение степных фитоценозов осуществлялось в 2016–2020 гг. наземно на учетных площадках (100 м²) согласно требованиям методик, общепринятых в фитоценологии. Оценка состояния растительности производилась с использованием данных дистанционного зондирования Земли по значениям нормализованного относительного вегетационного индекса. По данным спутника построены картограммы нормализованного относительного вегетационного индекса для каждого пункта исследования.

Результаты исследования. Из числа объектов исследования, расположенных в зоне неустойчивого увлажнения, доля полигонов с сильной степенью деградации составляет 18,8 %, со средней степенью деградации 37,5 %, а в засушливой зоне 70,6 и 23,5 % соответственно. В зоне неустойчивого увлажнения наиболее высокие коэффициенты ранговой корреляции между степенью деградации и площадью, занимаемой травянистой растительностью с определенным значением вегетационного индекса, наблюдаются в случае с нормализованным относительным вегетационным индексом, находящимся в пределах 0,0–0,4, а в засушливой 0,0–0,3 (при уровне значимости 0,01).

Обсуждение и заключение. При использовании данных дистанционного зондирования Земли для оценки степени деградации степных экосистем Ставропольского края необходимо использовать специфические для различных почвенно-климатических условий регрессионные модели.

Ключевые слова: биоразнообразие, вегетационный индекс, деградация, дистанционное зондирование Земли, засушливая зона, картограмма, растительные сообщества

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.



Для цитирования: Оценка природных растительных сообществ с использованием данных дистанционного зондирования Земли в условиях степей Ставропольского края / Ф. В. Ерошенко [и др.] // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32, № 3. С. 390–409. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202203.390-409>

Original article

Assessment of Natural Plant Communities through the Use of Remote Sensing Data of the Stavropol Territory Steppes

F. V. Eroshenko[✉], N. G. Lapenko, I. G. Storchak,
E. A. Bildieva, R. D. Kostitsyn, M. A. Starostina
*North Caucasus Federal Agricultural Research Centre
(Mikhailovsk, Russian Federation)*

[✉] yer-sniish@mail.ru

Abstract

Introduction. The relevance of the study of steppe phytocenoses is caused by the unsatisfactory state of natural grass stands, namely a low level of biodiversity and a high degree of degradation. The aim of the work is to determine the features of the connection of the Earth remote sensing data with the state and degree of degradation of natural grass stands in unstable moistening zone and arid zone of the Stavropol Territory. The Earth remote sensing data with certain temporal and spatial resolutions make it possible to carry out almost continuous monitoring of the state of natural grass stands.

Materials and Methods. The study of steppe phytocenoses was carried out in 2016–2020 on the ground at discount areas (100 m²) according to the requirements of methods generally accepted in phytocenology. Vegetation condition was assessed using the Earth remote sensing data based on the values of the Normalized Difference Vegetation Index. According to the satellite data, Normalized Difference Vegetation Index cartograms were constructed for each point of the study.

Results. The proportion of polygons with a high degree of degradation is 18.8% of research objects located in the zone of unstable moistening and the proportion of polygons with an average degree of degradation is 37.5%, while in the arid zone 70.6 and 23.5%, respectively. In the zone of unstable moistening, the highest coefficients of rank correlation between the degradation degree and the area occupied by herbaceous vegetation with a certain value of the vegetation index are observed in the case if Normalized Difference Vegetation Index is in the range of 0.0–0.4, and in the arid zone 0.0–0.3 (at 0.01 significance level).

Discussion and Conclusion. When using the Earth remote sensing data to assess the degree of degradation of steppe ecosystems of the Stavropol Territory, it is necessary to use regression models specific to various soil and climatic conditions.

Keywords: biodiversity, vegetation index, degradation, remote sensing data, arid zone, cartogram, plant communities

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

For citation: Eroshenko F.V., Lapenko N.G., Storchak I.G., et al. Assessment of Natural Plant Communities through the Use of Remote Sensing Data of the Stavropol Territory Steppes. *Engineering Technologies and Systems*. 2022;32(3):390–409. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202203.390-409>

Введение

Проблема сохранения степных экосистем является актуальной из-за их высокой экологической, природоохран-

ной и экономической значимости [1]. Методы, традиционно используемые для оценки состояния степных фитоценозов, трудоемки, ресурсозатратны,

что особенно важно в современных экономических условиях, и не всегда отличаются высокой точностью. В связи с этим возникает вопрос о поиске новых методов мониторинга, которые позволят оперативно и объективно контролировать состояния степных растительных сообществ [2; 3]. Такие методы могут быть разработаны на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), которые уже достаточно широко используют в сельском хозяйстве для изучения лесных агроландшафтов, включая естественные сенокосы и пастбища [4–8].

Цель исследования – установить особенности связи данных ДЗЗ с состоянием и степенью деградации естественных травостоев в различных почвенно-климатических зонах Ставропольского края.

Обзор литературы

Современная степная экосистема – это природная совокупность живых и косных компонентов, сформированная при абсолютном господстве травяных форм растений с участием кустарничков и полукустарничков [9; 10]. В последние десятилетия коренная перестройка хозяйственных механизмов в Российской Федерации повлекла за собой изменение режимов эксплуатации природных экосистем, в частности сенокосных и пастбищных фитоценозов [11]. На современном этапе степи испытывают сильный антропогенный пресс, так как нередко рассматриваются сельхозпроизводителями только с экономической точки зрения как кормовая база для животноводства [12; 13]. В результате их биологическое разнообразие, представленное видами злаковых, бобовых, группой разнотравья, постоянно находится в режиме хозяйственного использования, что приводит к утрате этого разнообразия [14; 15].

На природные экосистемы влияют абиотические факторы, такие как

засухи, суховеи, ливневые осадки, что в целом сказывается на состоянии природных экосистем и нередко приводит к деградации их растительного покрова. Вместе с тем ресурсы природных травостоев не безграничны. И здесь возникает вопрос о текущем состоянии природных фитоценозов [16; 17].

Анализ научных публикаций позволяет сделать вывод, что вопрос современного состояния степей актуален не только для Ставропольского края, но и практически для всех степных регионов нашей страны. Так, по данным ученых Института степи ОФИЦ УрО РАН, традиционные технологии, применяемые в Оренбургской области на протяжении длительного времени и ориентированные преимущественно на мобилизацию природного почвенного плодородия, привели к повсеместной деградации степных угодий, иссушению территории, снижению продуктивности агроценозов и кризисному сокращению ландшафтного и биологического разнообразия [18].

Исследования по проблеме деградации почв сухой степи в долине Маныч, проведенные на базе научно-экспедиционного стационара «Маныч» ЮНЦ РАН в Ростовской области, выявили, что усиление аридизации климата и антропогенной нагрузки в сухой степи привели к засолению, опустыниванию, пастбищной дигрессии. На исследованной территории площадь среднедеградированных почв составляет 40 %, сильно- и очень сильнодеградированных 32 %, слабодеградированных 18 %, а целинных (ненарушенных) только 10 % [19].

Исследования криоаридных почв Самахинской степи Юго-Восточного Алтая, широко используемых местным населением как пастбищные угодья и в орошаемой земледелии, также позволили выявить признаки деградации, обусловленные нерациональным

землепользованием и наложенными процессами трансформации экосистем под влиянием аридизации климата. На пастбищных землях, подверженных чрезмерному выпасу скота, отмечено разрушение дернины и структурных элементов [20; 21].

В результате многолетних исследований ландшафтов бассейна озера Байкал были прослежены основные закономерности современного антропогенного воздействия на разные типы экосистем на территории российской и монгольской частей. Антропогенная динамика пастбищных экосистем на территории монгольской части бассейна отличается прогрессирующим развитием пастбищной дигрессии, охватывающей все большие площади. Здесь резко увеличилась доля полностью трансформированных пастбищ, на месте которых формируются монодоминантные растительные сообщества из инвазийных видов. На данный момент наиболее широко распространены средне- и сильнонарушенные пастбища, на которых коренная степная растительность уже заменена менее продуктивными сообществами с преобладанием сорных и непоедаемых видов [22; 23].

Широкое использование дистанционных (аэрокосмических) методов значительно увеличило возможности изучения и оценки природных ресурсов. Повысилась качество исследований, оперативность и объективность полученных результатов, сократились временные и финансовые затраты [24]. В настоящее время данные ДЗЗ используют для оценки состояния и продуктивности сельскохозяйственных культур [25]. Космоснимки в различных спектрах электромагнитных волн дают возможность рассчитывать

вегетационные индексы, которые зависят от оптических свойств растительности. Наиболее часто используется нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI) [26; 27]. Этот индекс применяют и при анализе состояния естественных травостоев [28; 29]. В то же время отмечается, что условия выращивания оказывают существенное влияние не только на состояние растений, но и на динамику NDVI [30; 31]. Следовательно, закономерности связи ДЗЗ с состоянием растений, выявленные в одних почвенно-климатических условиях, могут иметь свои особенности в других.

Материалы и методы

Объекты исследования – природные, растительные сообщества, расположенные, согласно геоботаническому районированию территории Ставропольского края, в зоне неустойчивого увлажнения и в засушливой зоне (рис. 1).

В засушливой зоне гидротермический коэффициент (ГТК) равен 0,63–0,72, среднегодовое количество осадков 384–429 мм. Почвенный покров представлен светло-каштановыми почвами, встречаются так же каштановые, темно-каштановые и лугово-каштановые почвы. В зоне неустойчивого увлажнения климат умеренно континентальный с ГТК = 0,9–1,1, среднегодовое количество осадков 450–550 мм. Территориально зона неустойчивого увлажнения относится к Предкавказской почвенной провинции, представленной преимущественно почвами черноземного типа¹.

Изучение степных ценозов осуществлялось в 2016–2020 гг. на учетных площадках (100 м²) согласно требованиям методик, общепринятых в фитоценологии² [32].

¹ Система земледелия нового поколения Ставропольского края / В. В. Кулинцев [и др.]. Ставрополь : АГРУС, 2013. 520 с.

² Методика изучения сенокосов и пастбищ / под ред. Н. С. Конюшкова, Т. А. Работнова, И. А. Цаценкина. М. : Сельхозиздат, 1972. 288 с.

Для выявления связи степени деградации естественных травостоев с данными ДЗЗ были использованы результаты анализа снимков сенсора MODIS (пространственное разрешение 230 м, ежедневная периодичность), полученных с сервиса «ВЕГА-Science» ИКИ РАН. Также были применены высокодетальные изображения сенсора MSI спутников Sentinel-2A/2B (пространственное разрешение 10 м, периодичность 2–5 дней). Анализ связи данных ДЗЗ с состоянием травостоев на выбранных полигонах заключался в определении ранговой корреляции между ДЗЗ и степенью деградации естественных кормовых угодий (для этих целей использовали данные спутников Sentinel-2A/2B).

Результаты исследования

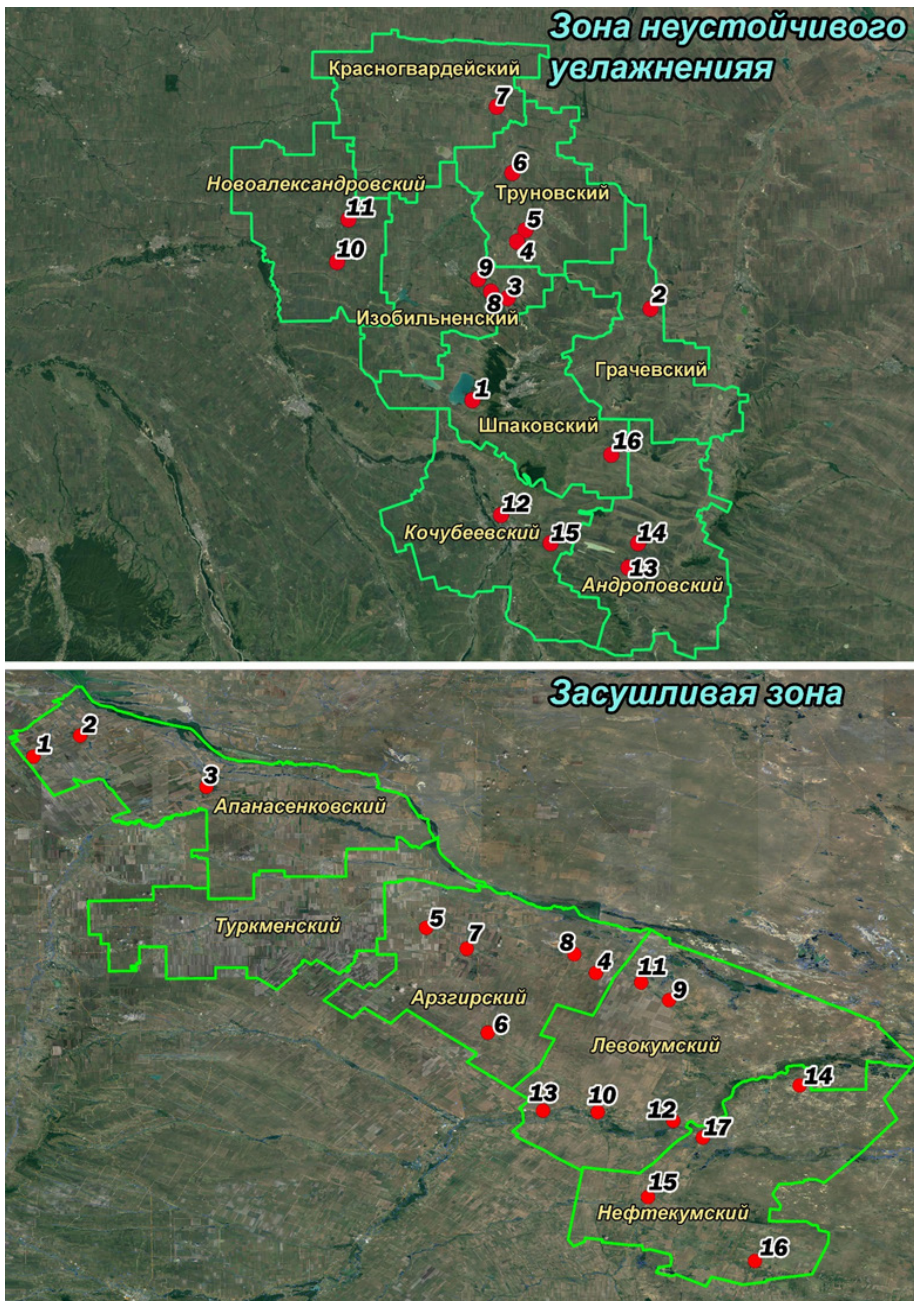
Результаты геоботанического обследования крайне засушливых степных сообществ восточной части Ставропольского края, представленные в таблице 1, позволяют охарактеризовать степные фитоценозы как травостой с преобладанием полынно-разнотравных модификаций. Растительность степных фитоценозов по количеству растений колеблется от 10 до 35 видов на учетной площади (10x10 м). Много малолетников, в отдельных пунктах до 50–60 %. Травостой наполовину и выше состоит из сорных видов, таких как молочай Сеггера (*Euphorbia seguieriana*), полынь австрийская (*Artemisia austriaca*), синеголовник полевой (*Eryngium campestre*), тысячелистник Биберштейна (*Achillea biebersteinii*) и др. Практически отсутствуют ценные кормовые виды дикорастущей флоры: келерия стройная (*Koeleria cristata*), виды житняка (*Agropyron*), ковыля (*Stipa*).

Результаты изучения природных травянистых сообществ зоны неустойчивого увлажнения приведены в таблице 2. Растительность зоны неустойчивого увлажнения по биоразнообразию

флоры разнородна, ее количество колеблется от 10 до 45 видов на учетной площади. Анализ полевого материала позволил выявить различные типы и модификации растительности, сформировавшиеся под влиянием сенокосения и выпаса животных. Они имеют различную степень интенсивности: от слабодеградированных с доминирующими в травостое многолетними видами злаковых и бобовых до сильно деградируемых, растительный покров которых характеризуется отсутствием ценных кормовых растений. Их сменила сорная растительность. Данные, более подробно представленные в таблице 2, описаны в ранее опубликованной статье [33].

Почвенно-климатические условия оказывают большое влияние на рост и развитие растений. В следствие этого динамика NDVI травяной растительности в различных природных зонах Ставропольского края характеризуется своими особенностями. Об этом свидетельствуют графики изменений вегетационного индекса в течение вегетации в засушливой зоне и в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края. Используются данные Сервиса «ВЕГА» ИКИ РАН сенсора MODIS для районов, в которых проводили исследования. Зона неустойчивого увлажнения: Труновский, Грачевский, Изобильненский, Красногвардейский, Новоалександровский, Кочубеевский, Шпаковский и Андроповский районы. Засушливая зона: Левокумский и Нефтекумский (рис. 2).

Проведенный анализ показал, что в зоне неустойчивого увлажнения максимум NDVI приходится на 21 мая, а в засушливой – на 23 апреля. Кроме того, значение максимума в первой зоне на 37,4 % больше, чем во второй (0,7056 и 0,5135 соответственно). В среднем с мая по ноябрь вегетационный индекс в зоне неустойчивого увлажнения на 46,8 % больше, чем в засушливой зоне.



Р и с. 1. Расположение объектов исследований
F i g. 1. Location of research objects

Таблица 1
Table 1

Особенности степных фитоценозов засушливой зоны Ставропольского края
Features of steppe phytocenoses of the Stavropol Territory arid zone

Номер полигона / Polygon number	Район / District	Пункты / Points	Количество видов растений на 100 м ² / Number of plant species per 100 m ²	Площадь покрытия почвы надземными частями растений, % / Area of soil coverage by aboveground parts of plants, %	Тип, модификация / Type, modification	Степень деградации естественных кормовых угодий / Degree of degradation of natural forage lands
1	2	3	4	5	6	7
1	Апанасенковский / Апанасенковскій	Малая Джалга / Malaya Dzhalgа	12	30	полюнно-разнотравная / wormwood-mixed grass	III
2		Клевка / Кіевка	18	30	полюнно-разнотравная / wormwood-mixed grass	III
3		Дивное / Дівне	16	60	полюнно-мятликово-костровые / wormwood-bluegrass-meadow brome	III
4	Арзгирский / Arzgirskiy	Садовое / Sadovoe	23	100	ковыльно-типчаково-разнотравная / feather grass-tirchak-mixed grass	II
5		Родниковское / Rodnikovskoe	32	80	ковыльно-типчаковая / feather grass-tirchak	I
6	Арзгирский / Arzgirskiy	Петропавловское / Петропавловське	16	40	мятликово-разнотравная / bluegrass-mixed grass	III
7		Арзгир / Arzgir	20	70	мятликово-полюнная / bluegrass-wormwood	II
8	Чограйское / Chograynskoe		27	40	полюнно-осоково-разнотравная / wormwood-sedge-mixed grass	III

Окончание таблицы 1 / End of table 1

1	2	3	4	5	6	7
9	Турксад / Turksad	Турксад / Turksad	21	40	полынно-тысячелистная / wortwood-yaugtow	III
10	Левокумское / Levokumskoe	Левокумское / Levokumskoe	31	60	осоково-полевая / sedge-wortwood	III
11	Приозерное / Priozernoye	Приозерное / Priozernoye	10	30	полынно-мятликовая / wortwood-bluegrass	II
12	Урожайное / Urozhaynoe	Урожайное / Urozhaynoe	26	80	полынно-разнотравная / wortwood-mixed grass	III
13	Бургун-Маджары / Burgun-Majary	Бургун-Маджары / Burgun-Majary	22	40	житняково-разнотравная / wheatgrass-mixed grass	II
14	Зимняя Ставка / Zimnyaya Stavka	Зимняя Ставка / Zimnyaya Stavka	10	70	мятликово-полевые / bluegrass-wortwood	III
15	Ачикулак / Achikulak	Ачикулак / Achikulak	20	30	полынно-мятликовая / wortwood-bluegrass	III
16	Тукуй-Мектеб / Tukui-Mekteb	Тукуй-Мектеб / Tukui-Mekteb	35	80	злаково-полевая / cereal-wortwood	III
17	Нефтекумский / Neftekumskiy	Нефтекумск / Neftekumsk	20	60	полынно-разнотравная / wortwood-mixed grass	III

Примечание. Степень деградации: 0 – недеградированная; I – слабодеградированная; II – среднедеградированная; III – сильнодеградированная; IV – очень сильнодеградированные (разрушенные)³.

Note. Degree of degradation: 0 – undegraded; I – weakly degraded; II – medium degraded; III – highly degraded; IV – very much degraded (destroyed).

³ Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель. Письмо Роскомзема от 27.03.1995 г. №3-15/582. 23 с.

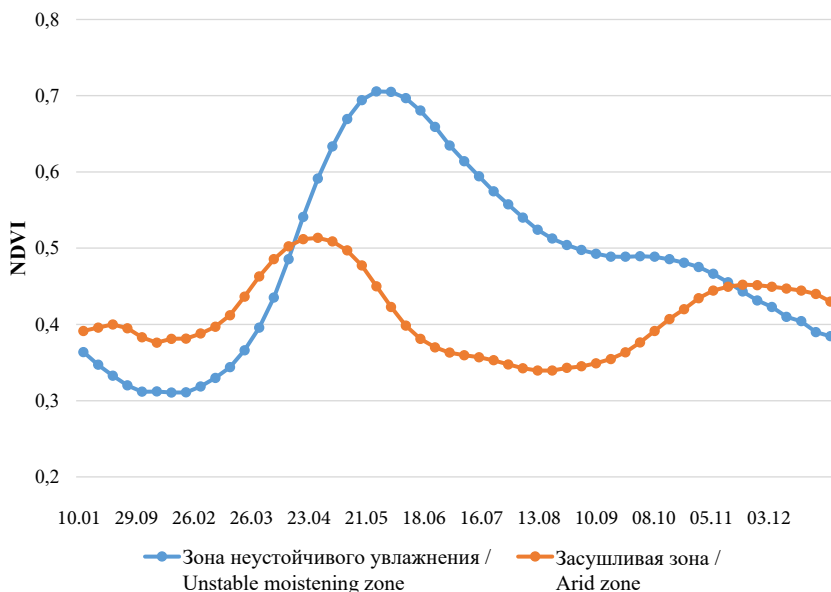
Таблица 2
Table 2

 Особенности степных фитоценозов зоны неустойчивого увлажнения Ставропольского края
 Features of steppe phytocenoses of the unstable moistening zone in the Stavropol Territory

Номер полигона / Polygon number	Район / District	Пункты / Points	Количество видов растений на 100 м ² / Number of plant species per 100 m ²	Площадь покрытия почвы надземными частями растений, % / Area of soil coverage by aboveground parts of plants, %	Тип, модификация / Type, modification	Степень деградации естественных кормовых угодий / Degree of degradation of natural forage lands
1	2	3	4	5	6	7
1	Шаповский / Shpakovskiy	Сенгилеевское / Sengileyskoye	45	100	ковыльно-типчаково-разнотравная / feather-tirchak-mixed grass	I
2	Грачевский / Grachevskiy	Ямки / Yamki	27	90	бородачево-типчаково-разнотравная / bluestem-tirchak-mixed grass	II
3	Изобильненский / Izobilnenskiy	Московское / Moskovskoye	28	80	типчаково-разнотравная / tirchak-mixed grass	II
4		Донское / Donskoe	36	90	бородачево-разнотравная / bluestem-mixed grass	II
5	Труновский / Trunovskiy	Труновское / Trunovskoe	29	70	бородачево-типчаково-разнотравная / bluestem-tirchak-mixed grass	I
6		Безопасное / Bezopasnoye	23	70	полюнно-разнотравная / wormwood-mixed grass	III
7	Красногвардейский / Krasnogvardeyskiy	Дмитриевское / Dmitriyevskoye	17	100	полюнно-разнотравная / wormwood-mixed grass	III

Окончание таблицы 2 / End of table 2

1	2	3	4	5	6	7
8	Изобильненский / Izobilnenskiy	Старая Дорога / Staraya Doroga	34	100	ковыльно-разнотравная / feather-mixed grass	I
9		Найденовка / Naydenovka	33	100	бородачево-люцерново-разнотравная / bluestem-alfalfa-mixed grass	I
10	Новоалександровский / Novoaleksandrovskiy	Кармалиновское / Kartmalinovskoye	26	100	пырейно-разнотравная / wheatgrass-mixed grass	II
11		Виноградное / Vinogradnoye	25	100	бородачево-келериево-разнотравная / bluestem-koelegria-mixed grass	II
12	Кочубеевский / Kochubeyskiy	Невинномыск / Nevinnomyssk	10	100	люцерново-типчаково-разнотравная / alfalfa-tirchak-mixed grass	I
13	Андроповский / Andropovskiy	Водораздел / Vodorazdel	11	70	типчаково-разнотравная / tirchak-mixed grass	II
14		Кланкыз / Kiankiz	25	80	типчаково-пырейно-однолетниковая / tirchak-wheatgrass-annual grass	III
15	Кочубеевский / Kochubeyskiy	Екатериновская / Ekaterinovskaya	23	100	типчаково-люцерново-разнотравная / tirchak-alfalfa-mixed grass	I
16	Шпаковский / Shpakovskiy	Новый Бешпагир / Novyy Beshpagir	41	100	типчаково-кострецово-разнотравная / tirchak-meadow-brome-mixed grass	I



Р и с. 2. Вегетационный индекс NDVI травянистой растительности в зоне неустойчивого увлажнения и в засушливой зоне Ставропольского края
 F i g. 2. Vegetation index NDVI of herbaceous vegetation in the zone of unstable moisture and in the arid zone of the Stavropol Territory

Следует отметить, что в осенний период, когда в засушливой зоне на фоне осадков устанавливается относительно теплая погода, отмечается явно выраженное повышение NDVI травянистой растительности, чего не наблюдается в зоне неустойчивого увлажнения.

Ранее нами было установлено, что данные ДЗЗ могут быть использованы для оценки степени деградации естественных кормовых угодий, а разработанный на этой основе метод (метод анализа гистограмм NDVI, полученных в период максимума развития растительности) позволяет с помощью спутникового мониторинга характеризовать состояние степных травостоев [33]. Этот метод основан на том, что в период максимального травостоя существует связь между степенью деградации кормовых угодий с вегетационным индексом NDVI, который непосредственно связан с развитостью

растений (биомасса/площадь фотосинтетической поверхности, количество хлорофилла).

Мы несколько модифицировали метод и выбрали в качестве критерия оценки степени деградации травостоя площади его участков (доли в процентах от общей площади) с определенными значениями NDVI. Предполагается, что чем больше площадь участков с низкими значениями вегетационного индекса, тем более деградировано травянистое угодье.

В период максимального травостоя нами были построены картограммы вегетационного индекса NDVI исследованных полигонов (спектральные снимки сканеров Sentinel-2A/2B). Они рассчитаны по коэффициентам спектральной яркости каждого участка площадью 10x10 м. Далее была определена площадь полигона со значением NDVI травостоев в промежутке

от 0 до 1 с шагом 0,1 (с NDVI, находящимся в промежутках 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 и 0,9–1,0). Затем была рассчитана их доля от площади всего полигона, которая и была использована в анализе (табл. 3, 4).

Полученные данные свидетельствуют о том, что существуют явные различия по величинам площадей с различными значениями NDVI в зоне неустойчивого увлажнения и в засушливой зоне. Так, в зоне неустойчивого увлажнения в среднем по исследованным полигонам максимальные площади занимают травостой с NDVI, находящимся в пределах 0,5–0,6; 0,6–0,7;

0,7–0,8 и 0,8–0,9. В засушливой зоне такие максимумы соответствуют пределам 0,1–0,2 и 0,2–0,3.

Таким образом, травостой, расположенные в различных почвенно-климатических зонах Ставропольского края, различаются не только характером изменений NDVI в течение вегетации и абсолютными его значениями, но и структурой площадей травостоев с различными значениями вегетационного индекса.

Мы рассчитали ранговую корреляцию степени деградации естественных травостоев с площадью, занимаемой травостоем с определенными значениями NDVI (рис. 3)

Таблица 3
Table 3

Доли площадей полигонов, занимаемых растительностью с определенным значением NDVI, в период максимального травостоя (зона неустойчивого увлажнения Ставропольского края), %

The proportion of polygon areas occupied by vegetation with a certain NDVI value during the period of maximum herbage (zone of unstable moistening in the Stavropol Territory), %

Диапазон NDVI / NDVI range	Номера полигонов / Polygon numbers															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	14	15	16	
0,0–0,1																
0,1–0,2							5,8									
0,2–0,3		2,2			0,3		7,7			91,7		2,4	2,1			
0,3–0,4	1,1	4,3	1,4	3,8	1,9	1,4	19,2		0,5	7,6		0,7	28,2		2,9	
0,4–0,5	2,4	20,5	6,8	11,5	11,9	6,8	34,6	0,1	2,3	0,6		3,3	51,4	0,3	11,1	
0,5–0,6	9,9	55,5	55,0	46,2	31,4	55,0	26,9	0,6	22,6	0,1	10,9	9,2	17,8	14,1	53,9	
0,6–0,7	42,6	17,5	36,8	38,5	39,1	36,8	5,8	7,5	60,4		31,0	35,3	0,5	75,9	28,3	
0,7–0,8	43,4				15,4			8,9	14,2		57,9	49,1		9,7	3,8	
0,8–0,9	0,6							82,9			0,2					
0,9–1,0																

Примечание. 1 – Сенгилеевское; 2 – Ямки; 3 – Московское; 4 – Донское; 5 – Труновское; 6 – Безопасное; 7 – Дмитриевское; 8 – Старая Дорога; 9 – Найденовка; 10 – Кармалиновское; 12 – Невинномысск; 13 – Водораздел; 14 – Кианкиз; 15 – Екатеринбургская; 16 – Нижний Бешпагир.

Note. 1 – Sengileyskoye; 2 – Yamki; 3 – Moskovskoye; 4 – Donskoe; 5 – Trunovskoe; 6 – Bezopasnoye; 7 – Dmitriyevskoye; 8 – Staraya Doroga; 9 – Naydenovka; 10 – Karmalinovskoye; 12 – Nevinnomysk; 13 – Vodorazdel; 14 – Kiankiz; 15 – Ekaterinovskaya; 16 – Nizhniy Beshpagir.

Таблица 4
 Table 4

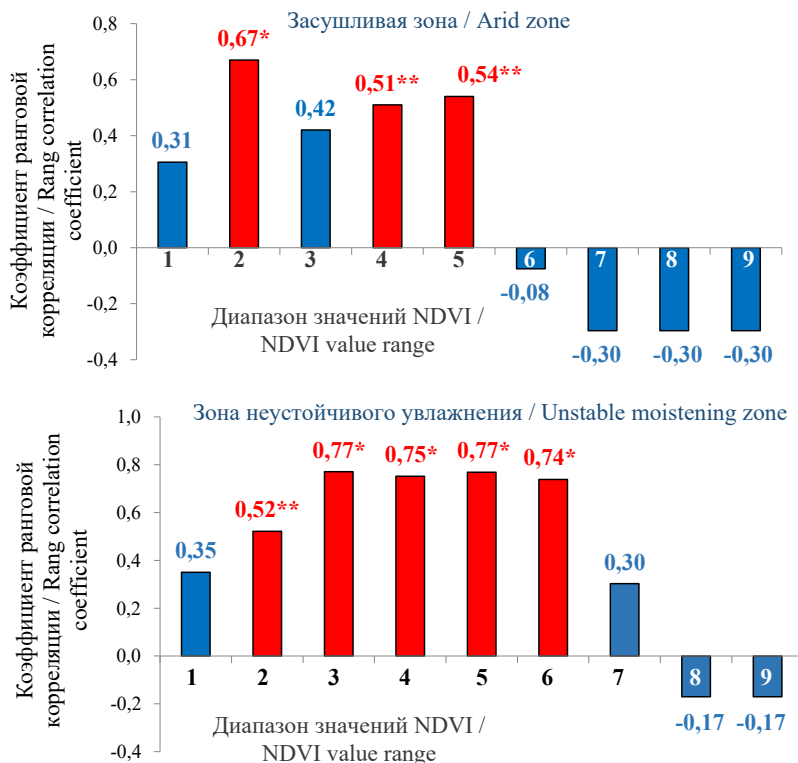
Доли площадей полигонов, занимаемых растительностью с определенным значением NDVI, в период максимального травостоя (засушливая зона Ставропольского края), %

The proportion of polygon areas occupied by vegetation with a certain NDVI value during the period of maximum herbage (zone of unstable moistening in the Stavropol Territory), %

Диапазон NDVI / NDVI range	Номера полигонов / Polygon numbers																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0,0–0,1	0,1	1,9	0,2	0,1	0,3			0,1	0,0	2,4	0,3			2,1	1,3		
0,1–0,2	2,0	89,0	1,6	70,2	38,2	99,2	0,4	21,0	77,1	8,9	62,1	71,5	3,1	46,9	14,0	0,5	89,9
0,2–0,3	29,2	8,0	80,4	23,5	13,4	0,8	99,0	79,0	22,8	89,5	35,1	20,1	43,8	47,8	80,6	5,6	10,1
0,3–0,4	63,4	1,1	17,7	0,9	0,7		0,6			1,6	0,4	5,4	53,1	2,3	4,1	14,5	
0,4–0,5			0,1	0,3	2,3							2,5	0,9			38,1	
0,5–0,6	4,3			0,2	22,7							0,2				38,6	
0,6–0,7	1,0			0,3	22,4												2,7
0,7–0,8				4,5													
0,8–0,9																	
0,9–1,0																	

Примечание. 1 – Малая Джалга; 2 – Киевка; 3 – Дивное; 4 – Садовое; 5 – Родниковское; 6 – Петропавловское; 7 – Арзгир; 8 – Чограйское; 9 – Турксад; 10 – Левокумское; 11 – Приозерное; 12 – Урожайное; 13 – Бургун-Манджары; 14 – Зимняя Ставка; 15 – Ачикулак; 16 – Тукуй-Мектеб; 17 – Нефтекумск.

Note. 1 – Malaya Dzhalga; 2 – Kievka; 3 – Divnoye; 4 – Sadovoye; 5 – Rodnikovskoye; 6 – Petropavlovskoye; 7 – Arzgir; 8 – Chograyskoye; 9 – Turksad; 10 – Levokumskoye; 11 – Priozernoye; 12 – Urozhaynoye; 13 – Burgun-Majary; 14 – Zimnaya Stavka; 15 – Achikulak; 16 – Tukui-Mekteb; 17 – Neftekumsk.



Диапазон значений NDVI / NDVI values range

1 – 0–0,2; 2 – 0–0,3; 3 – 0–0,4; 4 – 0–0,5; 5 – 0–0,6; 6 – 0–0,7; 7 – 0–0,8; 8 – 0–0,9; 9 – 0–1,0.

Р и с. 3. Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена между степенью деградации естественных кормовых угодий и площадью полигона, занимаемой травостоем с определенным значением вегетационного индекса NDVI (* – значимо для $p = 0,01$; ** – значимо для $p = 0,05$)

F i g. 3. Spearman's rank correlation coefficients between the degree of degradation of natural forage lands and the area of the landfill occupied by herbage with a certain value of the vegetation index NDVI (* – significant for $p = 0.01$; ** – significant for $p = 0.05$)

При проведении анализа по выявлению связи степени деградации естественных травостоев с данными ДДЗ наилучшие результаты были получены при использовании величин площадей полигонов со значениями вегетационного индекса в диапазонах: для зоны неустойчивого увлажнения 0,0–0,4 (коэффициент ранговой корреляции 0,771), для засушливой зоны 0,0–0,3 (коэффициент ранговой корреляции 0,670).

Обсуждение и заключение

Таким образом, условия почвенно-климатических зон Ставропольского края оказывают существенное влияние не только на динамику вегетационного индекса NDVI травянистой растительности, но и на структуру площадей полигонов с определенным значением вегетационного индекса. Засушливая зона характеризуется меньшими размерами площадей полигона с более высокими значениями NDVI. В зоне

неустойчивого увлажнения наблюдается обратная закономерность.

В зоне неустойчивого увлажнения наиболее высокие коэффициенты ранговой корреляции между степенью деградации и площадью, занимаемой

травянистой растительностью с определенным значением вегетационного индекса, наблюдается в случае с NDVI, находящимся в пределах 0,0–0,4 ($p = 0,01$), а в засушливой 0,0–0,3 ($p = 0,01$).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Current State and Ways to Save the Steppe Ecosystems of Stavropol / N. Lapenko [et al.] // IAJPS. 2019. Vol. 6, Issue. 3. P. 6329–6336. doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.2604260>
2. Якутин М. В., Андриевский В. С., Пучнин А. Н. Почвенно-микробиологические и почвенно-зоологические методы в экологическом мониторинге луговых аласных почв Центральной Якутии // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2020. Т. 4, № 2. С. 71–77. doi: <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2020-4-2-71-77>
3. Черкашин А. К., Бибаева А. Ю. Натурные и дистанционные исследования и математическое моделирование горностепных экосистем на ландшафтной основе // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26, № 4. С. 108–115. URL: <https://clck.ru/smaHL> (дата обращения: 01.04.2022).
4. Geoinformational Analysis of Desertification of the Northwestern Caspian / K. N. Kulik [et al.] // Arid Ecosystems. 2020. Vol. 10, Issue 2. P. 98–105. doi: <https://doi.org/10.1134/S2079096120020080>
5. Возможность оценки степени развития растений озимой пшеницы в период «всходы – кушение» по данным дистанционного зондирования Земли / И. Г. Сторчак [и др.] // Инженерные технологии и системы. 2021. Т. 31, № 1. С. 21–36. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.031.202101.021-036>
6. Михайленко И. М., Тимошин В. Н. Оценивание параметров состояния агроценозов по данным дистанционного зондирования Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18, № 4. С. 102–114. doi: <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-4-102-114>
7. Шарый П. А., Шарая Л. С., Сидякина Л. В. Связь NDVI лесов и характеристик климата Волжского бассейна // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17, № 4. С. 154–163. doi: <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-4-154-163>
8. Раевский Б. В., Тарасенко В. В., Петров Н. В. Оценка современного состояния и динамики растительных сообществ Онежского полуострова по разновременным спутниковым снимкам Landsat // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18, № 5. С. 145–155. doi: <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-5-145-155>
9. Саинчук А. М., Стекольников К. Е. Влияние антропогенной эволюции на потенциальное плодородие чернозема обыкновенного в условиях каменной степи // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2020. Т. 13, № 4. С. 220–227. doi: <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2020.4.220>
10. Goleusov P., Lisetskii F. Variants of Post-Agrogenic Soil Reproduction in Agrolandscapes (a Case Study in Belgorod Region) [Электронный ресурс] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. The VIII Congress of the Dokuchaev Soil Science Society (19–24 July 2021). Vol. 862. Syktyvkar, 2021. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/862/1/012096>
11. Чибилев (мл.) А. А., Чибилев А. А. Современное состояние и проблемы модернизации природно-экологического каркаса регионов степной зоны Европейской России // Юг России: экология, развитие. 2019. Т. 14, № 1. С. 117–125. doi: <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2019-1-117-125>
12. Пашков С. В., Мажитова Г. З. Агрогенная деградация лесостепных ландшафтов Северо-Казахстанской области // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. 2019. Т. 5, № 1. С. 140–152. URL: <https://clck.ru/smiRE> (дата обращения: 01.04.2022).

13. Кужугет С. К.-О. Влияние животноводства на пастбищные ландшафтно-геоэкологические системы Тувы // Вестник Тувинского государственного университета. Естественные и сельскохозяйственные науки. 2021. № 4. С. 56–63. URL: <https://clck.ru/sn49g> (дата обращения: 01.04.2022).
14. Changes in the Soil Microbial Communities of Alpine Steppe at Qinghai-Tibetan Plateau under Different Degradation Levels / H. Zhou [et al.] // The Science of the Total Environment. 2019. Vol. 651, Part 2. P. 2281–2291. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.336>
15. Методы повышения продуктивности аридных пастбищ / В. Г. Гребенников [и др.] // Аграрная наука. 2020. № 9. С. 70–73. doi: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-341-9-70-73>
16. The Effects of the Aridity Phenomenon Intensification on the Vegetal Land Cover in the Eastern Romanian Plain / A. G. Vrinceanu [et al.] // 18th International Multidisciplinary Scientific Geo Conference SGEM 2018: Conference Proceedings (02–08 July 2018). Albena : STEPH 92 Technologies LLC, 2018. P. 543–550. doi: <https://doi.org/10.5593/sgem2018/3.2/S13.071>
17. Observed Ecological Communities are Formed by Species Combinations That are among the Most Likely to Persist under Changing Environments / L. Medeiros [et al.] // The American Naturalist. 2021. Vol. 197, Issue 1. P. 17–29. doi: <https://doi.org/10.1086/711663>
18. Проблемы адаптации степного землепользования к антропогенным и климатическим изменениям (на примере Оренбургской области) / Ю. А. Гулянов [и др.] // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2022. Т. 86, № 1. С. 28–40. doi: <https://doi.org/10.31857/S258755662201006X>
19. Ильина Л. П., Сушко К. С. Современные проблемы деградации сухостепных почв долины Мангыч // Биосфера. 2019. Т. 11, № 3. С. 120–127. URL: <https://clck.ru/sn8We> (дата обращения: 01.04.2022).
20. Зверева Г. К., Сыева С. Я., Карнаухова Н. А. Оценка состояния растительности на природных кормовых угодьях Горного Алтая // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2019. № 1. С. 116–125. doi: <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2019-50-1-116-125>
21. Балыкин С. Н., Пузанов А. В., Рождественская Т. А. Трансформация криоаридных почв Самахинской степи под влиянием сельскохозяйственного использования // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 9. С. 72–80. URL: <https://clck.ru/snBVn> (дата обращения: 01.04.2022).
22. Причинно-следственный анализ деградации экосистем бассейна Байкала на основе долговременного мониторинга сети модельных полигонов / С. Н. Бажа [и др.] // Аридные экосистемы. 2021. Т. 27, № 2. С. 12–25. URL: <https://clck.ru/snC5N> (дата обращения: 01.04.2022).
23. Богданов Е. А., Климанова О. А., Гунин П. Д. Природные предпосылки и антропогенные факторы трансформации растительного покрова в пастбищных ландшафтах центральной Монголии // Известия Русского географического общества. 2019. Т. 151, № 3. С. 55–72. doi: <https://doi.org/10.31857/S0869-6071151355-72>
24. Фетисов Д. М., Жучков Д. В., Горюхин М. В. Оценка уровня озеленения города Биробиджана с применением мультиспектральных данных // Биосфера. 2021. Т. 13, № 4. С. 170–179. doi: <https://doi.org/10.24855/biosfera.v13i4.648>
25. Информационное обеспечение современных систем земледелия в России / В. П. Якушев [и др.] // Вестник Российской академии наук. 2021. Т. 91, № 8. С. 755–768. doi: <https://doi.org/10.31857/S0869587321080090>
26. Каверин Д. А., Панюков А. Н., Пастухов А. В. Анализ дистанционных спектральных индексов при исследовании сукцессий тундровой растительности в постагрогенных биогеоценозах // География и природные ресурсы. 2022. Т. 43, № 1. С. 121–131. doi: <https://doi.org/10.15372/GIPR20220113>
27. RS-Based Monitoring of NDVI Spatial Variations: A Case Study of Typical Grasslands on Mongolian Plateau / Tangkesi [et al.] // Nature of Inner Asia. 2019. Issue 2. P. 69–86. doi: <https://doi.org/10.18101/2542-0623-2019-2-69-86>
28. Мониторинг состояния сельскохозяйственных угодий степной и лесостепной зон России с использованием современных информационных технологий / Ю. А. Гулянов [и др.] // Вопросы степеведения. 2021. № 4. С. 75–81. doi: <https://doi.org/10.24412/2712-8628-2021-4-75-81>

29. О применении NDVI для мониторинга состояния степных и пустынных экосистем Гоби / П. Д. Гунин [и др.] // Аридные экосистемы. 2019. Т. 25, № 3. С. 45–52. URL: <https://clck.ru/snJQ5> (дата обращения: 01.04.2022).

30. Возможности дистанционной оценки состояния и степени деградации природных кормовых угодий / Ф. В. Ерошенко [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15, № 7. С. 53–66. doi: <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2018-15-7-53-66>

31. Do Vegetation Indices Provide a Reliable Indication of Vegetation Degradation? A Case Study in the Mongolian Pastures / A. Karnieli [et al.] // International Journal of Remote Sensing. 2013. Vol. 34, Issue 17. P. 6243–6262. doi: <https://doi.org/10.1080/01431161.2013.793865>

32. Работнов Т. А. К методике наблюдения над травянистыми растениями на постоянных площадках // Ботанический журнал. 1964. Т. 36, № 6. С. 47–50.

33. Лапенко Н. Г., Ерошенко Ф. В., Сторчак И. Г. Растительность степных фитоценозов и особенности ее вегетации в условиях Ставропольского края // Аграрный вестник Урала. 2020. № 2. С. 9–17. doi: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-193-2-9-19>

Поступила 04.04.2022; одобрена после рецензирования 18.05.2022; принята к публикации 08.06.2022

Об авторах:

Ерошенко Федор Владимирович, заведующий отделом физиологии растений Северо-Кавказского федерального научного аграрного центра (356241, Российская Федерация, г. Михайловск, ул. Никонова, д. 49), доктор биологических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0238-3861>, Researcher ID: [AAB-4769-2020](https://orcid.org/0000-0003-0238-3861), yer-sniish@mail.ru

Лапенко Нина Григорьевна, ведущий научный сотрудник лаборатории лугопастбищного кормопроизводства Всероссийского НИИ овцеводства и козоводства филиала Северо-Кавказского федерального научного аграрного центра (356241, Российская Федерация, г. Михайловск, ул. Никонова, д. 49), кандидат биологических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3856-690X>, Researcher ID: [AAB-5713-2020](https://orcid.org/0000-0003-3856-690X), sniish_stepi@mail.ru

Сторчак Ирина Геннадьевна, старший научный сотрудник отдела физиологии растений Северо-Кавказского федерального научного аграрного центра (356241, Российская Федерация, г. Михайловск, ул. Никонова, д. 49), кандидат сельскохозяйственных наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8741-6882>, Researcher ID: [AAB-4142-2020](https://orcid.org/0000-0001-8741-6882), sniish.storchak@gmail.com

Бильдиева Евгения Александровна, ведущий научный сотрудник лаборатории оценки экологического состояния агроценозов Северо-Кавказского федерального научного аграрного центра (356241, Российская Федерация, г. Михайловск, ул. Никонова, д. 49), кандидат сельскохозяйственных наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3049-8199>, Researcher ID: [AAB-4726-2020](https://orcid.org/0000-0003-3049-8199), bildieva@rambler.ru

Костицын Роман Денисович, младший научный сотрудник лаборатории лугопастбищного кормопроизводства Всероссийского НИИ овцеводства и козоводства филиала Северо-Кавказского федерального научного аграрного центра (356241, Российская Федерация, г. Михайловск, ул. Никонова, д. 49), аспирант, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5690-5613>, Researcher ID: [AGK-3291-2022](https://orcid.org/0000-0002-5690-5613), romancostitsyn@yandex.ru

Старостина Мария Александровна, научный сотрудник испытательной лаборатории шерсти Всероссийского НИИ овцеводства и козоводства филиала Северо-Кавказского федерального научного аграрного центра (356241, Российская Федерация, г. Михайловск, ул. Никонова, д. 49), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0086-4258>, Researcher ID: [AGK-3753-2022](https://orcid.org/0000-0003-0086-4258), lapenko62@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

Ф. В. Ерошенко – формулирование основной концепции, анализ космоснимков и интерпретация данных, доработка первоначального текста с учетом полученных данных.

Н. Г. Лапенко – проведение исследований, анализ состава природных травянистых сообществ, подготовка начального варианта текста.

И. Г. Сторчак – проведение исследований, получение и обработка данных спутникового мониторинга.

Е. А. Бильдиева – проведение исследований, анализ литературных данных, доработка текста.

Р. Д. Костицын – проведение исследований.

М. А. Старостина – проведение исследований.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Lapenko N., Godunova E., Dudchenko L., et al. Current State and Ways to Save the Steppe Ecosystems of Stavropol. *IAPPS*. 2019;6(3):6329–6336. doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.2604260>
2. Yakutin M.V., Andrievskiy V.S., Puchnin A.N. Soil Microbiological and Soil Zoological Methods in Environmental Monitoring of Alas Meadow Soils of Central Yakutia. *Interekspo Geo-Sibir*. 2020;4(2):71–77. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2020-4-2-71-77>
3. Cherkashin A.K., Bibaeva A.Yu. Field and Remote Researches and Mathematical Modeling of Mountain-Steppe Ecosystems on Landscape Basis. *Aridnye ekosistemy*. 2020;26(4):108–115. Available at: <https://clck.ru/smaHL> (accessed 01.04.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
4. Kulik K.N., Petrov V.I., Yuferev V.G., et al. Geoinformational Analysis of Desertification of the Northwestern Caspian. *Arid Ecosystems*. 2020;10(2):98–105. doi: <https://doi.org/10.1134/S2079096120020080>
5. Storchak I.G., Eroshenko F.V., Oganyan L.R., et al. Assessment of Winter Wheat Plant Development during the Seeding and Tillering Stages According to the Earth Remote Sensing Data. *Engineering Technologies and Systems*. 2021;31(1):21–36. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.031.202101.021-036>
6. Mikhailenko I.M., Timoshin V.N. Estimation of the Parameters of Agroecosystem State from Earth Remote Sensing Data. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2021;18(4):102–114. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-4-102-114>
7. Shary P.A., Sharaya L.S., Sidiyakina L.V. The Relation of Forest NDVI to Climate in Volga Basin. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2020;17(4):154–163. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-4-154-163>
8. Raevsky B.V., Tarasenko V.V., Petrov N.V. Inventory of the Current State and Changes in Vegetation Cover of the Onega Peninsula Using Staggered Landsat Images. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2021;18(5):145–155. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-5-145-155>
9. Sainchuk A.M., Stekolnikov K.E. Impact of Anthropogenic Evolution on Potential Fertility of Ordinary Chernozem in the Stone Steppe. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2020;13(4):220–227. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2020.4.220>
10. Goleusov P., Lisetskii F. Variants of Post-Agrogenic Soil Reproduction in Agrolandscapes (a Case Study in Belgorod Region). In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. The VIII Congress of the Dokuchaev Soil Science Society (19–24 July 2021). Vol. 862. Syktyvkar; 2021. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/862/1/012096>
11. Chibilyov (jr.) A.A., Chibilyov A.A. Current State and Problems of Modernization of Ecological Framework of Regions of the Steppe Zone of European Russia. *South of Russia: Ecology, Development*. 2019;14(1):117–125. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2019-1-117-125>
12. Pashkov S.V., Mazhitova G.Z. Agrogene Degradation of Forestand Steppe Landscapes in North Kazakhstan Region. *Uchenye zapiski Krymskogo federalnogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya*. 2019;5(1):140–152. Available at: <https://clck.ru/smiRE> (accessed 01.04.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
13. Kuzhuget S.K.-O. The Current State of Pasture Landscape and Geoecological Systems of Tuva. *Vestnik Tivinskogo gosudarstvennogo universiteta. Yestestvennye i selskokhozyaystvennye nauki*. 2021;(4):56–63. Available at: <https://clck.ru/sn49g> (accessed 01.04.2022). (In Russ., abstract in Eng.)

14. Zhou H., Zhang D., Jiang Zh., et al. Changes in the Soil Microbial Communities of Alpine Steppe at Qinghai-Tibetan Plateau under Different Degradation Levels. *The Science of the Total Environment*. 2019;651(2):2281–2291. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.336>
15. Grebennikov V.G., Lapenko N.G., Shipilov I.A., Khonina O.V. Methods for Increasing Productivity of Arid Pastures. *Agrarian Science*. 2020;(9):70–73. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-341-9-70-73>
16. Vrinceanu A.G., Lacatusu A.R., Anghel A., et al. The Effects of the Aridity Phenomenon Intensification on the Vegetal Land Cover in the Eastern Romanian Plain. In: 18th International Multidisciplinary Scientific Geo Conference SGEM 2018: Conference Proceedings (02–08 July 2018). Albena: STEPH 92 Technologies LLC; 2018. p. 543–550. doi: <https://doi.org/10.5593/sgem2018/3.2/S13.071>
17. Medeiros L., Boege K., del-Val E., et al. Observed Ecological Communities are Formed by Species Combinations That are among the Most Likely to Persist under Changing Environments. *The American Naturalist*. 2021;197(1):17–29. doi: <https://doi.org/10.1086/711663>
18. Gulyanov Yu.A., Chibilyov (Jr.) A.A., Chibilyov A.A., Levykin S.V. Problems of Steppe Land Use Adaptation to Anthropogenic and Climatic Changes (The Case of Orenburg Oblast). *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 2022;86(1):28–40. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.31857/S258755662201006X>
19. Ilina L.P., Sushko K.S. Current Problems of Dry-Steppe Soil Degradation in Manych Valley. *Biosfera*. 2019;11(3):120–127. Available at: <https://clck.ru/sn8We> (accessed 01.04.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
20. Zvereva G.K., Syeva S.I., Karnaukhova N.A. Estimation of Vegetation on the Forage Lands of Gornyy Altai. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2019;(1):116–125. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2019-50-1-116-125>
21. Balykin S.N., Puzanov A.V., Rozhdestvenskaya T.A. Cryoarid Soil Transformation in the Samakha Steppe under the Agricultural Use Effect. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2018;(9):72–80. Available at: <https://clck.ru/snBVn> (accessed 01.04.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
22. Bazha S.N., Andreev A.V., Bogdanov Ye.A., et al. Cause and Effect Analysis of the Ecosystem Degradation of the Baikal Basin Based on Long-Term Monitoring in the Model Reference Network. *Aridnye ekosistemy*. 2021;27(2):12–25. Available at: <https://clck.ru/snC5N> (accessed 01.04.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
23. Bogdanov E.A., Klimanova O.A., Gunin P.D. Natural Background and Anthropogenic Drivers of Vegetation Cover Changes in Pasture Landscape: The Case of Central Mongolia. *Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva*. 2019;151(3):55–72. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.31857/S0869-6071151355-72>
24. Fetisov D.M., Zhuchkov D.V., Goryukhin M.V. Estimating the Greenness Level of Birobidzhan City Using Remote Sensing Data. *Biosfera*. 2021;13(4):170–179. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.24855/biosfera.v13i4.648>
25. Yakushyev V.P., Yakushyev V.V., Blokhina S.Yu., et al. [Information Support for Modern Farming Systems in Russia]. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*. 2021;91(8):755–768. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.31857/S0869587321080090>
26. Kaverin D.A., Panjukov A.N., Pastukhov A.V. Analysis of Remote Spectral Indices in the Study of Successional Changes of Tundra Vegetation in Post-Agrogenous Biogeocenoses. *Geografia i prirodnye resursy*. 2022;43(1):121–131. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.15372/GIPR20220113>
27. Tangkesi, Wulantuya, Doljin D., Surina. RS-Based Monitoring of NDVI Spatial Variations: A Case Study of Typical Grasslands on Mongolian Plateau. *Nature of Inner Asia*. 2019;(2):69–86. doi: <https://doi.org/10.18101/2542-0623-2019-2-69-86>
28. Gulyanov Yu.A., Yartsev G.F., Vasilev I.V., et al. Assessment of the State of Agricultural Lands of the Steppe and Forest-Steppe Zones of Russia Using Modern Information Technologies. *Steppe Science*. 2021;(4):75–81. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.24412/2712-8628-2021-4-75-81>
29. Gunin P.D., Dedkov V.P., Danzhalova Ye.V. [On the Application of NDVI to Monitor the State of Steppe and Desert Ecosystems in the Gobi]. *Aridnye ekosistemy*. 2019;25(3):45–52. Available at: <https://clck.ru/snJQ5> (accessed 01.04.2022). (In Russ., abstract in Eng.)

30. Eroshenko F.V., Bartalev S.A., Lapenko N.G., et al. Capabilities for Rangelands State and Degradation Assessment Using Remote Sensing Data. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2018;15(7):53–66. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2018-15-7-53-66>
31. Karnieli A., Bayarjargal Y., Bayasgalan M., et al. Do Vegetation Indices Provide a Reliable Indication of Vegetation Degradation? A Case Study in the Mongolian Pastures. *International Journal of Remote Sensing*. 2013;34(17):6243–6262. doi: <https://doi.org/10.1080/01431161.2013.793865>
32. Rabotnov T.A. [To the Methodology of Observation of Herbaceous Plants on Permanent Plots]. *Botanicheskiy zhurnal*. 1964;36(6):47–50. (In Russ.)
33. Lapenko N.G., Yeroshenko F.V., Storchak I.G. Vegetation of Steppe Phytocenoses and Features of Its Vegetation under Complicated Conditions of the Stavropol Krai. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2020; (2):9–17. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-193-2-9-19>

Submitted 04.04.2022; approved after reviewing 18.05.2022; accepted for publication 08.06.2022

About the authors:

Fedor V. Eroshenko, Head of the Department of Plant Physiology, North Caucasus Federal Agricultural Research Centre (49 Nikonov St., Mikhailovsk 356241, Russian Federation), Dr.Sci. (Biol.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0238-3861>, Researcher ID: [AAB-4769-2020](https://orcid.org/0000-0003-0238-3861), yer-sniish@mail.ru

Nina G. Lapenko, Senior Researcher at the Laboratory of Meadow and Pasture Fodder Production, All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Husbandry, Branch of the North Caucasus Federal Agricultural Research Centre (49 Nikonov St., Mikhailovsk 356241, Russian Federation), Cand.Sci. (Biol.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3856-690X>, Researcher ID: [AAB-5713-2020](https://orcid.org/0000-0003-3856-690X), sniish_stepi@mail.ru

Irina G. Storchak, Senior Researcher of the Department of Plant Physiology, North Caucasus Federal Agricultural Research Centre (49 Nikonov St., Mikhailovsk 356241, Russian Federation), Cand. Sci. (Agric.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8741-6882>, Researcher ID: [AAB-4142-2020](https://orcid.org/0000-0001-8741-6882), sniish.storchak@gmail.com

Evgeniya A. Bildieva, Principal Researcher at the Laboratory of Environmental Assessment of Agrocenoses, North Caucasus Federal Agricultural Research Centre (49 Nikonov St., Mikhailovsk 356241, Russian Federation), Cand.Sci. (Agric.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3049-8199>, Researcher ID: [AAB-4726-2020](https://orcid.org/0000-0003-3049-8199), bildieva@rambler.ru

Roman D. Kostitsyn, Researcher at the Laboratory of Meadow and Pasture Fodder Production, All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Husbandry, Branch of the North Caucasus Federal Agricultural Research Centre (49 Nikonov St., Mikhailovsk 356241, Russian Federation), Postgraduate Student, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5690-5613>, Researcher ID: [AGK-3291-2022](https://orcid.org/0000-0002-5690-5613), romancostitsyn@yandex.ru

Mariya A. Starostina, Researcher in the Wool Testing Laboratory, All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Husbandry, Branch of the North Caucasus Federal Agricultural Research Centre (49 Nikonov St., Mikhailovsk 356241, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0086-4258>, Researcher ID: [AGK-3753-2022](https://orcid.org/0000-0003-0086-4258), lapenko62@yandex.ru

Contribution of the authors:

F. V. Eroshenko – formulation of the basic concept, analysis of satellite imagery and data interpretation, refinement of the original text taking into account the data obtained.

N. G. Lapenko – conducting the research, analyzing the composition of natural herbaceous communities, preparing the initial version of the text.

I. G. Storchak – conducting the research, receiving and processing satellite monitoring data.

E. A. Bildieva – conducting research, analyzing literary data, finalizing the text.

R. D. Kostitsyn – conducting research.

M. A. Starostina – conducting research.

All authors have read and approved the final manuscript.