

# Деградационные процессы в степных сообществах и данные дистанционного зондирования Земли

**Н. Г. ЛАПЕНКО**, кандидат биологических наук,  
ведущий научный сотрудник (e-mail:  
lapenko31@yandex.ru)

**Ф. В. ЕРОШЕНКО**, доктор биологических наук,  
ведущий научный сотрудник (e-mail:  
yer-sniish@mail.ru)

**И. Г. СТОРЧАК**, кандидат сельскохозяйственных  
наук, старший научный сотрудник

**Л. В. ДУДЧЕНКО**, кандидат биологических наук,  
старший научный сотрудник

**Е. О. ШЕСТАКОВА**, аспирант

Северо-Кавказский федеральный научный аграрный  
центр, ул. Никонова, 49, Михайловск, Шпаковский р-н,  
Ставропольский край, 356241, Российская Федерация

**Резюме.** Существующие методы оценки природных травостоев сложны и субъективны. Поэтому целью наших исследований было установить возможность использования данных дистанционного зондирования Земли из космоса для характеристики природных травостоев и степени их деградации. Объекты исследования – природные сообщества, находящиеся на территории Ставропольского края. На основании проведенного наземного геоботанического обследования была установлена степень деградации выбранных полигонов: Сенгилеевское – 0 (недеградированный); Кианкиз – 3 (сильнодеградированный). Была определена динамика вегетационного индекса NDVI выбранных полигонов в период вегетации в среднем за 2016–2017 гг. (данные MODIS). Травостои, максимально контрастные по степени деградации, имели неоднозначные различия по величине NDVI в течение всего периода вегетации. Разница значений вегетационного индекса периода конец апреля – конец октября составляла 45,3 % в пользу полигона Сенгилеевское, а с начала вегетации и до конца апреля – 43,5 % в пользу полигона Кианкиз. Поэтому NDVI, рассчитанные по космоснимкам низкого пространственного разрешения (250 м), не могут в достаточной мере характеризовать природные травостои. Для оценки гипотезы о возможности использования для таких целей показателя доли площади полигона, занятой либо хорошо развитой, либо плохо развитой растительностью, в летний период была определена площадь полигонов со значениями NDVI определенного диапазона с шагом в 0,1 (данные высокого пространственного разрешения Sentinel 2). Максимальные различия наблюдались в том случае, когда сравнивали площади с вегетационным индексом, находящимся в диапазоне 0,1...0,4. На полигоне Сенгилеевское на их долю приходилось 1,31 %, Кианкиз – 98,85 %. Такие результаты анализа спутниковых данных высокого разрешения подтвердили результаты наземных геоботанических исследований, свидетельствующие о больших различиях в состоянии травостоев и степени деградации, выбранных полигонов.

**Ключевые слова:** вегетационный индекс, NDVI, данные дистанционного зондирования Земли, пастбищная дигрессия, растительные сообщества, сорные растения, степень деградации.

**Для цитирования:** Деградационные процессы в степных сообществах и данные дистанционного зондирования Земли / Н. Г. Лапенко, Ф. В. Ерошенко, И. Г. Сторчак и др. // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 10. С. 50–53. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-11011.

Природная растительность степного Ставрополя, используемая для выпаса и сенокошения, сформировалась и существует в течение многих тысячелетий. Но бессистемное её использование привело к тому, что сегодня более 80 % площади таких травостоев находится на разных стадиях пастбищной дигрессии. Это остается одной из актуальных проблем степного Ставрополя.

Следует отметить, что основные факторы, оказывающие прямое воздействие на растительный покров – овце-

водство и скотоводство, хотя поголовье в общественном секторе с начала проведения экономических реформ (1985–1991 гг.) сократилось в 8...10 раз. Однако поголовье овец и крупного рогатого скота (КРС) в индивидуальном секторе остается значительным, а площади природных кормовых угодий, расположенные вблизи населенных пунктов и в границах муниципальных образований, ограничены, что приводит к их пастбищной перегрузке [1, 2].

Для оценки состояния посевов сельскохозяйственных культур в последние годы стали использовать данные дистанционного зондирования Земли. Они характеризуются достаточно высокой оперативностью и объективностью, а также позволяют получать информацию обо всей обследуемой территории [3, 4, 5].

Цель наших исследований – определить возможности использования данных дистанционного зондирования Земли из космоса для характеристики состояния и степени деградации естественных кормовых угодий.

**Условия, материалы и методы.** Объекты исследования – природные растительные сообщества, находящиеся на территории Ставропольского края. Общие условия проведения исследований – зона разнотравно-дерновиннозлаковых степей с осадками 450...550 мм в год, ГТК 0,9...1,1. Степи приурочены к обыкновенным и типичным черноземам, мощность которых варьирует в пределах от 40 до 70 см, а содержание гумуса достигает 3,5...4,0 % [6, 7].

Для оценки современного состояния растительного покрова природных сообществ проводили геоботаническое обследование стандартных учетных площадок (100 м<sup>2</sup>). Описание растительности осуществляли по семибальной системе Друде с определением флористической насыщенности, проективного покрытия травостоя, обилия видов.

Проводили сравнение видового состава растительного покрова степных сообществ: целинного (аналог зональной степи) – пункт 1 (Сенгилеевское) и деградированного – пункт 2 (Кианкиз).

Обработку полевых материалов выполняли согласно общепринятым геоботаническим методикам [8, 9]. Латинские названия растений приведены по Черепанову [10]. Дана качественная характеристика травостоя [11]. Определена степень деградации растительного покрова [12].

Наряду с традиционным геоботаническим обследованием анализировали данные дистанционного зондирования Земли. Для этого каждый участок оцифровывали, а затем с его координатам связывали данные дистанционного зондирования Земли, полученные из различных источников. Временные ряды значений нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) выбранных полигонов получены с помощью сервиса Vega (<http://pro-vega.ru/>) [13] с пространственным разрешением 250 м. В работе также использовали открытые данные, размещенные на сайте <https://remotepixel.ca/projects/index.html>, – коэффициенты спектральной яркости в красной и инфракрасной областях электро-магнитных волн на определенную дату (данные со сканеров Sentinel 2 с пространственным разрешением 10 м<sup>2</sup>). На их основании вычисляли значения NDVI.

**Результаты и обсуждение.** Количественные (степень участия растений в травостоях) и качественные (питательная ценность, поедаемость животными) показатели тра-

Таблица. Видовой состав зональной степи и ее деградированной модификации на учётной площади 100 м<sup>2</sup>

Вид растений	Обилие*	Значение**	Вид растений	Обилие	Значение
<b>Пункт 1, Сенгилеевское (всего 45 видов)</b>					
<i>Achillea setacea</i> Waldst.et Kit.	Sp2	Б	<i>Linum nervosum</i> Waldst.et Kit.	Sp2	Д
<i>Adonis vernalis</i> L.	Sp1	Р, Л	<i>Medicago romanica</i> Prod.	Sp2	К
<i>Amoria montana</i> (L.) Sojak	Sp1	К	<i>Onobrychis arenaria</i> (Kit.) DC.	Sp3	К
<i>Arenaria serpyllifolia</i> L.	Sp1	Б	<i>Paeonia tenuifolia</i> L.	Sp1	Р
<i>Artemisia austriaca</i> Jacq.	Sol	Л	<i>Plantago lanceolata</i> L.	Sp2	Л
<i>Astragalus austriacus</i> Jacq.	Sp1	К	<i>Plantago media</i> L.	Sp2	К
<i>Astragalus onobrychis</i> Bieb.	Sp1	К	<i>Poa angustifolia</i> L.	Sp1	К
<i>Bromopsis riparia</i> (Rehm.) Holub	Sp3	К	<i>Polygala caucasica</i> Rupr.	Sp2	Д
<i>Carex humilis</i> Leyss.	Sp1	К	<i>Potentilla recta</i> L.	Sp1	Л
<i>Centaurea apiculata</i> Ledeb.	Sp1	Д	<i>Poterium polygamum</i> Waldst.et Kit.	Sp1	К
<i>Centaurea dealbata</i> Willd.	Sp2	Д	<i>Ranunculus polyanthemos</i> L.	Sp1	Я, Л
<i>Chamaecytisus ruthenicus</i> (Fisch.ex Woloszcz.) Klaskova	Sp1	К	<i>Reseda lutea</i> L.	Sp1	М, Л
<i>Dictamnus caucasicus</i> (Fisch.et C.A.Mey.) Grossh.	Sp2	Д, Я	<i>Rosa canina</i> L.	Sol	Д
<i>Echium russicum</i> J.F.Gmel.	Sp2	Б, М	<i>Salvia tesquicola</i> Klok.et Pobed.	Sp1	Д
<i>Euphorbia iberica</i> Boiss.	Sp2	Я, Л	<i>Stachys atherocalyx</i> C.Koch	Sp1	Д
<i>Festuca valesiaca</i> Gaudin	Cop1	К	<i>Stipa pulcherrima</i> C.Koch	Cop1	К, Р
<i>Filipendula vulgaris</i> Moench	Sp3	М, Д	<i>Teucrium polium</i> L.	Sp2	Л, Д
<i>Geranium sanguineum</i> L.	Sp3	Д	<i>Thalictrum minus</i> L.	Sp3	Д, Я
<i>Gypsophila paniculata</i> L.	Sp1	М, Д	<i>Thymus marschallianus</i> Willd.	Sp3	Л
<i>Iris notha</i> Bieb.	Sp1	Р, Д	<i>Veronica spicata</i> L.	Sp2	Д
<i>Iris pumila</i> L.	Sp1	Р, Д	<i>Vincetoxicum hirundinaria</i> Medik.	Sp1	Л
<i>Jurinea arachnoidea</i> Bunge	Sp1	К, Д	<i>Xeranthemum annuum</i> L.	Sp1	Д
<i>Koeleria cristata</i> (L.) Pers.	Sp2	К			
<b>Пункт 2, Кианкиз (всего 25 видов)</b>					
<i>Achillea setacea</i>	Sp2	Б	<i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski	Sp3	К
<i>Amoria repens</i> (L.) C.Presl	Sp1	К	<i>Festuca rupicola</i> Heuff	Sp2	К
<i>Arenaria serpyllifolia</i>	Sp2	Б	<i>Festuca valesiaca</i>	Cop2	К
<i>Artemisia austriaca</i>	Sp2	Л	<i>Gallium humifusum</i> Bieb	Sp2	Л, Д
<i>Berteroia incana</i> (L.) DC.	Sp1	М, Л	<i>Lathyrus tuberosus</i> L.	Sp1	К
<i>Bromus japonicus</i> Thunb.	Sp1	С	<i>Lepidium rudemale</i> L.	Sp1	С
<i>Bromus secalinus</i> L.	Sp1	С	<i>Medicago lupulina</i> L.	Sp1	В
<i>Bromus squarrosus</i> L.	Sp1	С	<i>Medicago romanica</i>	Sp2	К
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	Sp1	С	<i>Plantago lanceolata</i>	Sp3	Л
<i>Chrisaspis campestris</i> (Schreb.) Desv.	Sp1	К	<i>Potentilla argentea</i> L.	Sp1	
<i>Cichorium intybus</i> L.	Sp1	С, М	<i>Setaria pumila</i> (Poir.) Schult	Sp2	
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Sp1	Я, М	<i>Tragus racemosus</i> (L.) All.	Sp1	
<i>Daucus carota</i> L.	Sp1	С			

\* – обилие видов по шкале О. Друде; \*\* – качественная оценка: К – кормовое, Л – лекарственное, М – медонос, Р – редкое, Д – декоративное, С – сорное (растения, засоряющие пастбища), Б – балластное (плохо или совсем не поедаются животными), В – вредное (наносит механические повреждения животным или портят качество животноводческой продукции), Я – ядовитое (содержат вещества, вызывающие заболевания и смерть животных) [14].

востоев двух сравниваемых участков различны (см. табл.). Растительный покров в пункте 1 (ass. *Stipa pulcherrima* + *Festuca valesiaca* + разнотравье) флористически богаче (45 видов на 100 м<sup>2</sup>), чем в пункте 2 (25 видов на 100 м<sup>2</sup>), и до 90 % состоит из ценных представителей дикорастущей флоры. Проективное покрытие почвы надземными частями растений – 100 %. В травостое пункта 1 доминируют кормовые многолетние злаки – *Bromopsis riparia*, *Festuca valesiaca*, *Koeleria cristata*, *Stipa pulcherrima*. Из бобовых и разнотравья встречаются *Amoria montana*, *Astragalus austriacus*, *Astragalus onobrychis*, *Filipendula vulgaris*, *Geranium sanguineum*, *Medicago romanica*, *Onobrychis arenaria*, *Poterium polygamum*, *Thymus marschallianus* и многие другие. Наблюдаются редкие и лекарственные виды растений – *Adonis vernalis*, *Paeonia tenuifolia*, *Thymus marschallianus* и др. Состояние данного травостоя – оптимальное эталонное, то есть степень деградации нулевая. С хозяйственной точки зрения это пастбищный корм хорошего качества.

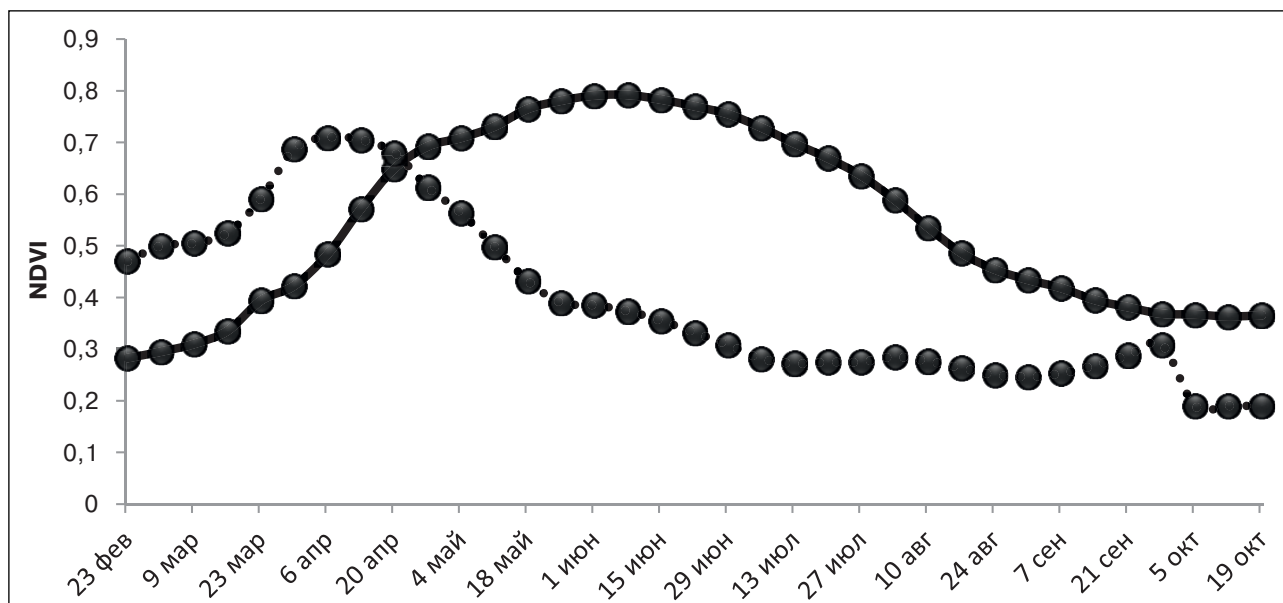
В пункте 2 (ass. *Festuca valesiaca* + *Elytrigia repens* + *Bromus japonicus*) отмечено сильное влияние выпаса. Проективное покрытие – 80 %. Это природное сообщество, несмотря на достаточно обильное присутствие злака-доминанта степных травостоев (*Festuca valesiaca*), сильно деградированно. Основой травостоя служат

сорные и балластные виды, засоряющие пастбище, преимущественно малолетники (до 40 %), не имеющие хозяйственной пользы и не полезные в кормовом отношении – *Bromus japonicus*, *Bromus squarrosus*, *Capsella bursa-pastoris*, *Lepidium rudemale*, *Medicago lupulina* и др. Замена ценных кормовых трав таким низкопродуктивным и сорным разнотравьем служит показателем деградации травостоя в результате чрезмерной пастбищной нагрузки в течение ряда лет.

Таким образом, по результатам геоботанического обследования современное состояние и пастбищную дигрессию исследуемых кормовых угодий пункта 1 (Сенгилеевское) в соответствии с методическими рекомендациями [12] можно оценить как недеградированное, ненарушенное (0 баллов), пункта 2 (Кианкиз) – как сильнодеградированное (3 балла).

Зная состав растительных сообществ, мы можем оценивать и прогнозировать современное состояние типов растительности и их модификаций, а также степень деградации на исследуемой территории, что может быть подтверждено при геоботаническом обследовании.

Вместе с тем, наземные геоботанические обследования, будучи экономически достаточно затратными и в силу значительной площади территории не могут с достаточной



**Рис. 1.** Динамика вегетационного индекса NDVI в период вегетации (в среднем за 2016–2017 гг.): —●— — Сенгилеевское, Шпаковский район; .....●..... — Кианкиз, Андроповский район.

точноcтью выявлять современное состояние природных травостоев и развитие протекающих дeгpадационных процессов. Для решения этой проблемы были изучены возможности использования в таких целях данных дистанционного зондирования Земли.

С помощью сервиса «ВЕГА» Института космических исследований РАН мы определили динамику вегетационного индекса NDVI выбранных полигонов в период вегетации в среднем за 2016–2017 гг. (рис. 1). Результаты анализа свидетельствуют о том, что до конца апреля по величине этого показателя на полигоне Кианкиз наблюдается преимущество, по сравнению с полигоном Сенгилеевское, которое в среднем оценивается величиной 0,18, что составляет 43,5 %.

Начиная с 27 апреля и до конца вегетации закономерность обратная. В этот период NDVI полигона Сенгилеевское на 45,3 % больше, чем полигона Кианкиз. В среднем за весь период вегетации (238 дней) величина

этого показателя у обследуемых полигонов различается на 28,5 % в пользу Сенгилеевского.

Таким образом, контрастные по степени дeгpадации травостои (Сенгилеевское – 0, Кианкиз – 3) в наших исследованиях имели различия по величине NDVI в течение всего периода вегетации, за исключением конца апреля месяца.

С нашей точки зрения, такие неоднозначные результаты свидетельствуют о том, что значения NDVI не могут в достаточной мере быть критерием дeгpадированности природных травостоев. Поэтому нужны другие подходы к решению этой задачи. Мы предположили, что для таких целей может быть использован показатель доли площади полигона, занятой хорошо либо плохо развитой растительностью, так как степень дeгpадации пастбища определяется, в том числе, размерами части общей площади участка с плохо развитой или полностью отсутствующей растительностью. Для его расчета могут подойти данные дис-



**Рис. 2.** Картограммы распределения вегетационного индекса NDVI, рассчитанного по данным Sentinel 2, по территории полигонов (красная линия – граница полигона) на начало июля (в среднем за 2016–2017 гг.).

танционного зондирования с высоким пространственным разрешением. Так, картограммы распределения вегетационного индекса NDVI по территории изученных полигонов, рассчитанного по данным Sentinel 2 (пространственное разрешение – 10 м) в летний период (2 июля), наглядно демонстрируют разницу между деградированным и сильно деградированным участками (рис. 2).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что на полигоне Кианкиз территория, занятая растительностью с меньшими значениями NDVI (более светлые оттенки зеленого цвета) гораздо больше, чем на полигоне Сengилеевское. Поэтому для каждого полигона были определены площади их частей с NDVI, находящимися в следующих пределах: 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.

Максимальные различия между изученными участками были отмечены в случае, когда сравнивали долю площади с вегетационным индексом в диапазоне 0,1...0,4.

На полигоне Сengилеевское величина этого показателя составляла 1,31 %, Кианкиз – 98,85 %. Таким образом, спутниковые данные подтверждают результаты наземных геоботанических обследований, свидетельствующих о больших различиях в состоянии травостоев и степени деградированности выбранных полигонов.

**Выводы.** Величины вегетационного индекса NDVI, рассчитанные по космоснимкам низкого пространственного разрешения (250 м), не могут с достаточно высокой точностью характеризовать степень деградации полигонов (максимально контрастные по степени деградации объекты в среднем за вегетацию разнятся всего на 28,5 %). Для этих целей лучше использовать данные дистанционного зондирования земли высокого пространственного разрешения (10 м) путем сравнения доли площади полигонов с вегетационным индексом в диапазоне 0,1...0,4 (на полигоне Сengилеевское величина этого показателя составляет 1,31 %, а Кианкиз – 98,85 %).

### Литература.

1. Дружинин В. А., Лапенко Н. Г., Дудченко Л. В. Природные кормовые угодья северо-восточного Ставрополя // Кормопроизводство. 2016. № 2. С. 7–12.
2. Гребенников В. Г., Шипилов И. А., Хонина О. В. Кормовые ресурсы – главный фактор развития животноводства Ставропольского края // Инновационные технологии в сельском хозяйстве, ветеринарии и пищевой промышленности: сборник научных статей по материалам 82-й Международной научно-практической конференции. Ставрополь: АГРУС, 2017. С. 51–55.
3. 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.
4. Регрессионные модели оценки урожайности сельскохозяйственных культур по данным MODIS / Н. Н. Кукуль, А. Н. Кравченко, С. В. Скакун и др. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 1. С. 95–107.
5. Ерошенко Ф. В., Чердынченко И. Г. Регрессионные модели оценки урожайности озимой пшеницы в Ставропольском крае с использованием NDVI // Бюллетень Ставропольского научно-исследовательского института сельского хозяйства. 2013. № 5. С. 58–64.
6. Система земледелия нового поколения Ставропольского края: монография / В. В. Кулинцев, Е. И. Годунова, Л. И. Желнакова и др. Ставрополь: АГРУС, 2013. 520 с.
7. Агроклиматические ресурсы Ставропольского края / сост. З. М. Русеева, Ш. Ш. Народецкая, В. А. Солошенко и др. Л.: Гидрометиздат, 1971. 273 с.
8. Полевая геоботаника / под общ. ред. Е. М. Лавренко, А. А. Корчагина. М.-Л.: Изд. Академии Наук СССР, 1964. Т. 3. 530 с.
9. Работнов Т. А. К методике наблюдения над травянистыми растениями на постоянных площадках // Ботанический журнал. 1964. Т. 36. № 6. С. 47–50.
10. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (В пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья, 1995. 992 с.
11. Методические указания по оценке качества и питательности кормов М.: ЦИНАО, 2002. 35 с.
12. Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель, 1995. 23 с. // Консорциум «Кодекс» [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902101153> (дата обращения: 16.09.2018).
13. 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.
14. Никонов А. А., Быстров С. Н., Копейкин Ю. В. Сорные растения Ставропольского края // Труды СНИИСХ. 1975. Вып. XXXI. 290 с.

## Degradation Processes in Steppe Communities and Data of Earth Remote Sensing

N. G. Lapenko, F. V. Eroshenko, I. G. Storchak, L. V. Dudchenko, E. O. Shestakova

North-Caucasus Federal Scientific Agrarian Center, ul. Nikonova, 49, Mikhailovsk, Shpakovskii r-n, Stavropol'skii krai, 356241, Russian Federation

**Abstract.** Existing methods for assessing natural grass stands are complex and subjective. Therefore, the goal of our research was to establish the possibility of using data from Earth remote sensing to characterize natural grass stands and a degree of their degradation. The objects of the study were natural communities located in the territory of Stavropol Krai. On the basis of the carried out ground geobotanical survey, the degree of degradation of the selected plots was established: Sengileevskoe – 0 points (non-degraded); Kiankiz – 3 points (highly degraded). The dynamics of the NDVI vegetation index of the selected plots during the growing season on average over 2016–2017 (MODIS data) were determined. Grass stands, the most contrasting in the degree of degradation, had ambiguous differences in the NDVI value over the entire vegetation period. The difference in the values of the vegetation index during the period from the end of April to the end of October was 45.3% in favour of the Sengileevskoe plot, and from the beginning of the vegetation to the end of April it was 43.5% in favour of the Kiankiz plot. Therefore, NDVI calculated from satellite images of low spatial resolution (250 m) cannot fully be a criterion for evaluating natural grass stands. We assumed that for these purposes an indicator of the proportion of the area occupied by either well developed or poorly developed vegetation can be used. Therefore, in the summer period, the area of plots with NDVI values of a certain range was determined in increments of 0.1 (data of high spatial resolution of Sentinel 2). The maximum differences were observed when the areas were compared with a vegetative index in the range of 0.1–0.4. Their share was 1.13% at the Sengileevskoe plot and 98.85% at the Kiankiz plot. These results of the analysis of high-resolution satellite data confirmed the results of ground-based geobotanical surveys, indicating large differences in the state of grass stands and the degree of degradation of the selected plots.

**Keywords:** vegetative index; NDVI; data of Earth remote sensing; pasture digression; vegetable communities; weed plants; degradation extent.

**Author Details:** N. G. Lapenko, Cand. Sc. (Biol.), leading research fellow (e-mail: [lapenko31@yandex.ru](mailto:lapenko31@yandex.ru)); F. V. Eroshenko, D. Sc. (Biol.), leading research fellow (e-mail: [yer-sniish@mail.ru](mailto:yer-sniish@mail.ru)); I. G. Storchak, Cand. Sc. (Agr.), senior research fellow; L. V. Dudchenko, Cand. Sc. (Biol.), senior research fellow; E. O. Shestakova, post graduate student.

**For citation:** Lapenko N. G., Eroshenko F. V., Storchak I. G., Dudchenko L. V., Shestakova E. O. Degradation Processes in Steppe Communities and Data of Earth Remote Sensing. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2018. Vol. 32. No. 10. Pp. 50–53 (in Russ.). DOI: 10.24411/0235-2451-2018-11011.