



УДК 502.57(252.51):614.84  
<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2025.51.47>

## Вегетационные цветные индексы БПЛА и NDVI при выявлении особенностей и динамики растительности степных сенокосов

В. М. Павлейчик\*

*Институт степи УрО РАН, г. Оренбург, Россия*

**Аннотация.** Отмечается, что одним из факторов формирования пожарных обстановок является пространственная структура сенокосных угодий. В этой связи на участке старовозрастной степной залежи в Южном Предуралье были проведены комплексные исследования, связанные с выявлением взаимосвязей между спектральными (NDVI) и цветными (NDI, ExG, ExGR) вегетационными индексами и количеством фитомассы на условно контрольных и выкошенных площадках. Полученные результаты свидетельствуют о разнонаправленном характере восстановления растительности после проведения сенокосов в зависимости от особенностей гидротермического режима отдельных лет и сезонов года. В засушливые годы растительность сенокоса может оставаться в угнетенном состоянии, во влажные – активно наращивать зеленую фитомассу с преобладанием над контрольными участками. Использование БПЛА рекомендуется для картографирования сенокосных угодий, выбора и репрезентативного размещения мониторинговых площадок, а также для получения схем распределения цветных вегетационных индексов в условиях быстрых смен в растительном покрове и при необходимости гарантированных систематических наблюдений.

**Ключевые слова:** цветные вегетационные индексы, БПЛА, NDVI, сенокос, пожары, мониторинг, степи.

**Благодарности.** При поддержке гранта РФФИ № 23-27-00134 получен фактический материал и проведен первичный анализ данных, в рамках темы государственного задания Института степи УрО РАН № АААА-А21-121011190016-1 скорректированы методологические подходы к выполнению расчетов, сформулированы выводы.

**Для цитирования:** Павлейчик В. М. Вегетационные цветные индексы БПЛА и NDVI при выявлении особенностей и динамики растительности степных сенокосов // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2025. Т. 51. С. 47–59. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2025.51.47>

Original article

## Vegetation Color Indexes of UAV and NDVI in Identifying the Features and Dynamics of Vegetation of Steppe Hayfields

V. M. Pavleichik\*

*Institute of Steppe UB RAS, Orenburg, Russian Federation*

**Abstract.** The development of wildfires poses a threat to the sustainable ecological development and safety of the population of steppe regions. One of the factors in the formation of fire situations is the spatial structure of hayfields. In this regard, comprehensive studies were conducted on the site of an old-age steppe deposit in the Southern Urals to identify the relationships between spectral (NDVI) and color (NDI, ExG, ExGR) vegetation indices and the amount of phytomass on conditionally controlled and mowed sites. The results obtained indicate the multidirectional nature of vegetation restoration after haymaking based on the characteristics of the hydrothermal regime of individual years and seasons. In dry years, the vegetation of the hayfield can remain in a depressed state, in wet years it can actively increase the green phytomass with a predominance over the control areas. The use of UAVs is recommended for mapping hayfields, selecting and representative placement of monitoring sites, as well as for obtaining schemes for the distribution of color vegetation indices in conditions of rapid changes in vegetation cover and, if necessary, guaranteed systematic observations.

**Keywords:** color vegetation indexes, UAV, NDVI, haymaking, fires, monitoring, steppes.

---

**For citation:** Pavleichik V.M. Vegetation Color Indexes of UAV and NDVI in Identifying the Features and Dynamics of Vegetation of Steppe Hayfields. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2025, vol. 51, pp. 47–59. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2025.51.47> (in Russian)

---

## Введение

Активность развития травяных пожаров в степях Северной Евразии и на сопредельных территориях находится в тесной взаимосвязи с состоянием растительного покрова под воздействием пастбищной нагрузки [Dubinin, Lushchekina, Radeloff, 2011; Pavleychik, Chibilev, 2018; Post-Soviet Land-Use ... , 2020; An analysis ... , 2023], а также во многом зависит от региональных особенностей пространственной структуры угодий [Pavleychik, Chibilev, Padalko, 2022], традиций и практики использования огня в сельскохозяйственных целях, в том числе для улучшения кормовых качеств степных пастбищ [Зданчук, Артамонова, 1938]. Помимо этих условий, часто имеющих макрорегиональный характер, существует множество локальных факторов формирования пожарных обстановок. В их числе такой редко принимаемый во внимание фактор, как периодическое изъятие растительной фитомассы сенокосных угодий, отличающееся непостоянством как во времени, так и в пространстве. Лишенные большей части фитомассы сенокосы не способны поддерживать устойчивое распространение огня, в связи с чем могут являться одним из краткосрочных, но действенных механизмов регулирования пожарных обстановок. Отсутствие достаточного понимания роли сенокосов в развитии пожаров обусловлено недостатком сведений о пространственно-временной структуре угодий и продолжительности восстановления пирологических качеств степной растительности после сенокосения.

В этой связи особый интерес вызывают возможности использования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для оценки состояния растительного покрова посредством анализа спектральных вегетационных индексов (СВИ). Следует учитывать, что преобладающая часть исследований, выполненных на основе СВИ, сосредоточена на территориях с обилием зеленой растительной массы. Примеры использования СВИ применительно к травянистой растительности степей и пустынь в целом единичны и, как правило, локальны по пространственному охвату [О возможности оценки ... , 2021; Шинкаренко, Барталев, 2023; Хорошев, Калмыкова, Дусаева, 2023; Шинкаренко,

Барталев, 2024; Шинкаренко, Барталев, Литвинова, 2024]. Получаемые результаты часто содержат выводы о несоответствиях между фактическими показателями растительных сообществ и значениями вегетационного индекса (ВИ) NDVI, что объясняется рядом объективных проблем методологического характера. В их числе спектрально-отражательные особенности отдельных видов и групп степных растений, присутствие в неопределенных количествах растительной мортмассы, имеющей экранирующую роль относительно к зеленой растительности. С учетом слабой степени сомкнутости степного травостоя и низкого пространственного разрешения используемых спутниковых изображений эти факторы могут приводить к недооценке значений NDVI. Таким образом, для оценки продолжительности восстановления пирологических качеств степной растительности после сенокоса необходима верификация получаемых данных наземными методами с оценкой флористической и эколого-морфологической структуры сообществ, их продуктивности, степени сомкнутости и других параметров с учетом сезонных и многолетних изменений.

Несмотря на очевидные методологические проблемы, постепенно нарабатывается опыт идентификации ареалов сенокоса на основе спутниковых изображений высокого разрешения, например применительно к пойменно-луговым угодьям [Васильченко, 2023]. Одним из способов картографирования границ сенокосов и мониторинговых наблюдений за состоянием растительного покрова является использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), оснащенных цифровыми камерами с RGB или спектральными сенсорами. Исходные RGB-снимки БПЛА и хроматические (цветные) вегетационные индексы (ЦВИ) на их основе в последние годы успешно используются в различных научных областях [Using Ordinary ... , 2016; Larrinaga, Brotons, 2019; Diaz-Delgado, Múcher, 2019; Evaluating Post-Fire ... , 2020; Comparison of RGB ... , 2021; Comparison of Satellite ... , 2021; Vegetation Cover ... , 2022; Spatial analysis ... , 2022]. Эти данные можно рассматривать в качестве промежуточного этапа исследований между анализом СВИ и результатов наземных изысканий. Получаемые посредством применения БПЛА схемы обладают высокой детализацией и могут восполнять пробелы во временных рядах ДЗЗ, в том числе связанные с их недостаточной или негарантированной периодичностью.

Таким образом, получение пространственно-временных данных о проведении сенокосов и состоянии растительного покрова может способствовать пониманию региональной специфики формирования пожарных обстановок.

### **Объект и методы исследования**

В 2023–2024 гг. были проведены полевые исследования на участке пологого придолинного склона р. Касмарки (приток р. Сакмары) в зоне сочленения полого-увалистых равнин Южного Предуралья и передовых складок горного Урала (рис. 1, А). Растительный покров представлен старовозрастной (последнее пахотное возделывание зафиксировано в 2009 г.) степной залежью, используемой как сенокосные угодья.

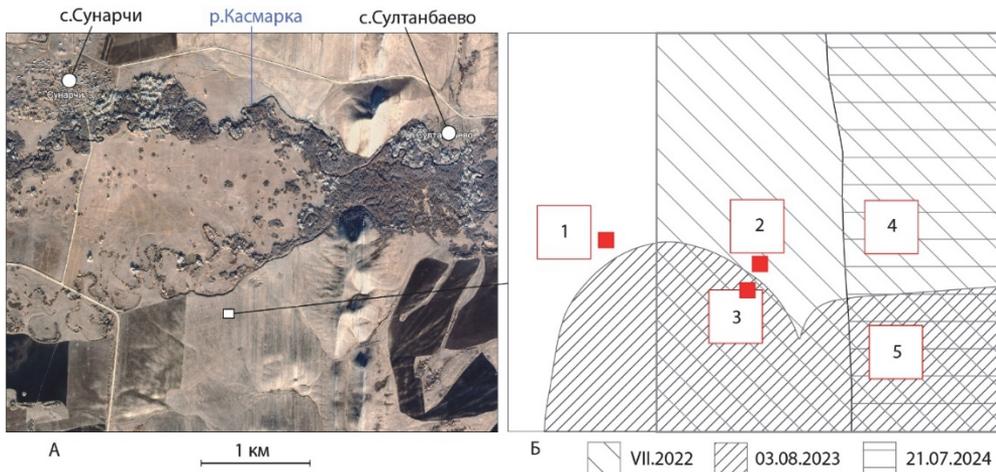


Рис. 1. Обзорная схема на снимке Google Earth (А) (прямоугольником отмечена территория исследования). Схема расположения мониторинговых площадок (квадраты красного цвета) и площадок расчета ВИ (№ 1–№ 5), даты проведения сенокосов (Б)

Растительность рассматриваемой территории представлена разнотравно-перистоковыльно-тонконоговым сообществом (*Koeleria macrantha* – *Stipa pennata* – *Herbae stepposae*). Из злаков отмечается ковыль тырса (*Stipa capillata*), в сложении разнотравья наиболее часто участвуют грудница мохнатая (*Galatella villosa*), подмаренник русский (*Galium ruthenicum*), шалфей степной (*Salvia stepposa*). Разнотравье представлено характерными степными видами, что соответствует продолжительности восстановления растительности после прекращения пахотного возделывания данного участка: *Veronica incana*, *Pulsatilla patens*, *Hedysarum argyrophyllum*, *Goniolimon elatum*, *Nonea pulla*, *Plantago urvillei*, *Senecio jacobaea*, *Melampyrum arvense*, *Dianthus andrzejowskianus*, *Phlomidoides tuberosa*, *Onosma tinctoria*, *Knautia arvensis*, *Galatella punctata*, *Astragalus testiculatus*, *Helichrysum arenarium* и др. В то же время наблюдаемое обилие и видовое разнообразие разнотравья свидетельствует о продолжающихся восстановительных сукцессиях.

При помощи БПЛА зафиксированы границы сенокосов 2022, 2023 и 2024 гг. и выбраны площадки для проведения укосов растительности и расчета спектральных и цветных вегетационных индексов (рис. 1, Б).

Для получения аэрофотоснимков использовался БПЛА, оснащенный 1-дюймовым CMOS-сенсором 20 МП (5472×3648 пк) и объективом, обеспечивающим фокусное расстояние 88°. RGB-изображения в форматах \*.dng и \*.jpg были сделаны на различных уровнях от поверхности (2, 5, 25, 75, 100 м), на их основе произведены расчеты значений трех ЦВИ:  $ExG = 2g - r - b$ ,  $ExGR = 3g - 2,4r - b$ ,  $NDI = (g - r)/(g + r)$ , где приняты нормированные значения каждого из каналов в виде отношения значений к сумме каналов (R+G+B). В статье приводятся результаты с аэроснимков, полученных с высоты 100 м, послуживших основой для подготовки схем пространственного распределения ВИ и для расчета их числовых показателей с площадок 10×10 м, в том

числе приближенных к участкам проведения укосов (№ 1–№ 3). Площадка № 1 выступает в качестве контрольной, не подвергавшейся сенокосу как минимум за 2022–2024 гг. Остальные четыре площадки образуют четыре варианта пар для сравнения СВИ и ЦВИ (№ 2–№ 4, № 3–№ 5, № 2–№ 3, № 4–№ 5), а также три пары для сопоставления дополнительно с данными наземных изысканий (№ 1–№ 2, № 1–№ 3, № 2–№ 3).

Ежемесячно (с конца апреля по октябрь включительно) по трем площадкам был получен фактический материал о состоянии растительного покрова на основе проведенных укосов надземной фитомассы с площадок 0,5×0,5 м 3-кратной повторности, описания видового состава растительных сообществ, визуального определения показателей проективного покрытия. На камеральном этапе исследований произведен разбор образцов на зеленую фитомассу, ветошь и войлок (последний отбирался отдельно) и по группам (злаки, разнотравье, полыни, кустарники и кустарнички) с последующим взвешиванием.

Подготовлены базы числовых значений NDVI Sentinel 1-2 за беснежные периоды 2023–2024 гг. Гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова рассчитан по данным метеостанции Оренбург.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Стоит обратить внимание, что два рассматриваемых года резко отличались друг от друга гидротермическими условиями (рис. 2), что отчетливо отразилось как на активности вегетации растительности в целом, так и по отдельным группам и видам. На всем протяжении 2023 г. был характерным для региона – жарким и засушливым, тогда как 2024 г. отличался повышенным увлажнением, особенно значимые осадки наблюдались в мае и в августе. Следует учитывать, что указанные особенности определенно способствовали вегетации на протяжении всего теплого периода 2024 г. и, вероятнее всего, внесли коррективы и сократили различия между кошеными и некошеными площадками. По этой причине далее в статье в некоторых случаях мы оперируем не фактическими, а разностными значениями.

Гидротермическим особенностям рассматриваемых лет соответствуют межгодовые различия и сезонная динамика значений индекса NDVI (см. рис. 2). В приведенной диаграмме в качестве контрольной выступает площадка № 1, не скашиваемая на протяжении как минимум трех лет (2022–2024 гг.). Значения по остальным четырём площадкам на большем протяжении рассматриваемого периода были выше, чем на контрольной площадке, независимо от времени проведенных на них сенокосов. При этом 2024 г. отличался большим разбросом значений и более значимыми отличиями от площадки № 1. Это косвенно указывает как на особенности вегетации в различных гидротермических условиях, так и на наличие экранирующего эффекта от накопившихся запасов мортмассы на контрольной площадке.

Приводимые ниже данные (рис. 3) отражают числовые различия в значениях индекса NDVI по парам площадок – некошенных и скошенных (для последних на рисунке указан их номер согласно рис. 1 и дата сенокосения).

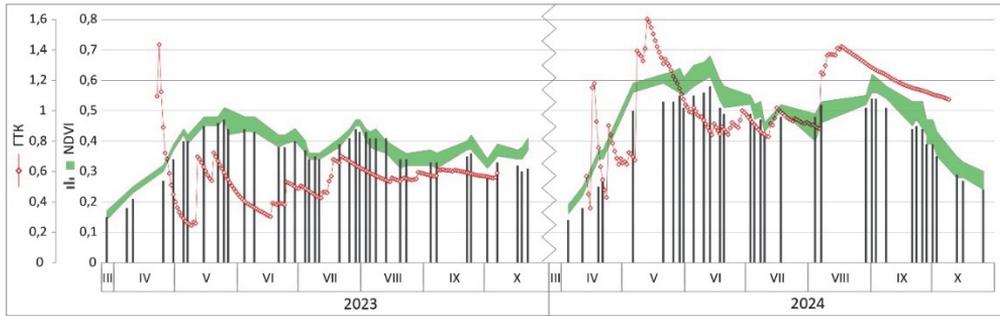


Рис. 2. Ход значений NDVI в 2023 и 2024 гг. на контрольной площадке № 1 и амплитуда значений на остальных площадках. Графики ГТК Селянинова

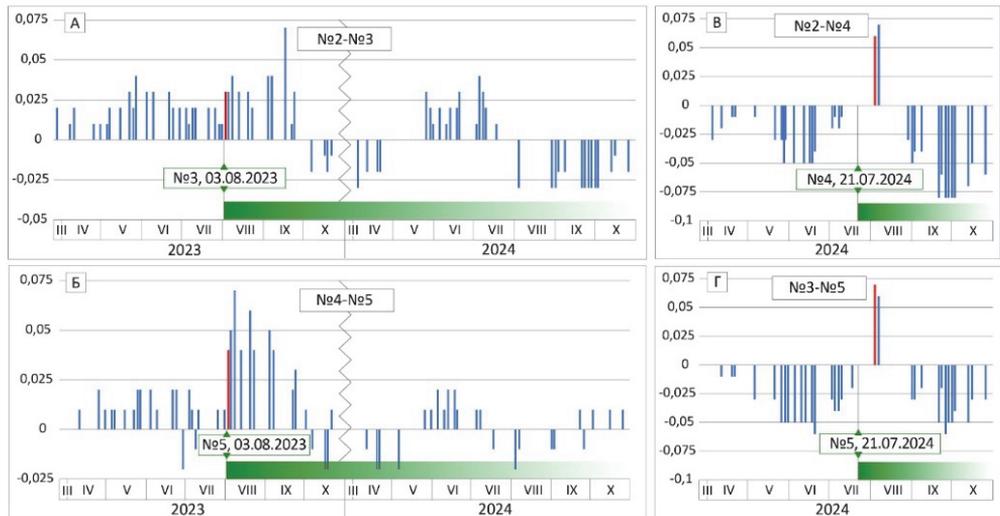


Рис. 3. Разностные значения NDVI по парам площадок (некошенная – скошенная)

Для сенокоса 03.08.2023 различия между двумя сопоставляемыми парами оказались довольно существенными. Площадки первой пары (№ 2 и № 3, рис. 3, А) еще до сенокоса заметно отличались друг от друга по NDVI и практически сохранили различия на протяжении последующих двух месяцев (VIII–IX). Но в дальнейшем соотношение значений менялось: в октябре и апреле – мае следующего года NDVI преобладал на скошенных площадках, в мае – июле – на некошенных, августе – октябре – снова на скошенных. Схожая динамика наблюдалась и на второй паре (№ 4 и № 5, рис. 3, Б), несмотря на то что в конце июля обе эти площадки были скошены. В 2024 г. ход значений индекса был более выраженным (рис. 3, В, Г): резкое преобладание NDVI наблюдалось на условно контрольных площадках на протяжении 2–3 недель после проведения сенокоса 21.07.2024, впоследствии вернувшись на пониженные фоновые значения контрольных площадок.

Анализ парных соотношений элементов надземной фитомассы на укосных площадках № 1, 2 и 3 показал следующее. В паре № 1–№ 2 запасы зеленой фитомассы в большинстве укосов были на 20–25 % выше на контрольной площадке (№ 1), варьируя в пределах 90–170 г/м<sup>2</sup> (в сухом состоянии); лишь спустя два года после сенокоса (в июне 2024 г.) соотношение выровнялось, а в некоторые месяцы становилось противоположным. Различия в ветоши были гораздо заметнее – ее запасы на контрольной площадке составляли 75–180 г/м<sup>2</sup>, т. е. были в 2,0–2,5 раза больше, достигая максимума (в 4,5–5,0 раз больше) в первые весенние месяцы 2023 г. При этом, если на скошенной площадке (№ 2) динамика за 2023–2024 гг. была поступательно нарастающей, то на контрольной (№ 1) наблюдались сезонные максимумы в весенние и осенние месяцы каждого из годов. Количество войлока на обеих площадках было наименьшим по сравнению с ветошью и зеленой фитомассой, соотношение между площадками было невыдержанным во времени. Соотношения по двум остальным парам площадок (№ 1–№ 3 и № 2–№ 3) имеют менее продолжительный ряд данных (площадка № 3 заложена 03.09.2023 спустя месяц после сенокоса), в целом показывают аналогичные соотношения по рассмотренным выше элементам фитомассы.

Если рассматривать соотношение элементов фитомассы, обращает внимание устойчивое преобладание мортмассы на 20–35 % на всех площадках за период апрель 2023 г. – апрель 2024 г. (условно засушливый период) и в сентябре 2024 г. В то же время в благоприятный вегетационный период 2024 г. (с мая по август) активная вегетация растительности привела к преобладанию зеленой фитомассы на 30–55 %. При этом какого-либо повышения активности деструкционных процессов в связи с наступлением в 2024 г. благоприятных (теплых и влажных) условий отмечено не было.

Временной ряд схем рассматриваемого участка в виде исходных RGB-изображений и схем распределения ЦВИ на их основе показан на рис. 4. Заметно, что на время проведения съемки (03.09.2023), по истечении около 30 дней после сенокоса, контуры сенокоса относительно хорошо заметны лишь на RGB-снимке и на схеме ExG.

В свою очередь, снимок, сделанный непосредственно в день проведения сенокоса (21.07.2024), отчетливо фиксирует его границу, особенно контрастно на схемах ExGR и ExG. Заметим, что в результате аналогичных исследований на примере коренных и залежных степных сообществ Забайкалья сделан вывод [О возможности оценки ... , 2021], что из множества других ЦВИ именно ExG и ExGR наиболее соответствуют количеству надземной фитомассы. Сохранение контура наблюдается и на последующих двух снимках, но соотношение ЦВИ между скошенными и нескошенными участками меняется на противоположное – в условиях сокращенного количества ветоши и войлока вновь вегетирующая растительность сенокоса отчетливо фиксируется RGB-сенсором БПЛА. Таким образом, продолжительность сохранения различий тесно обусловлена гидротермическими условиями вегетации.

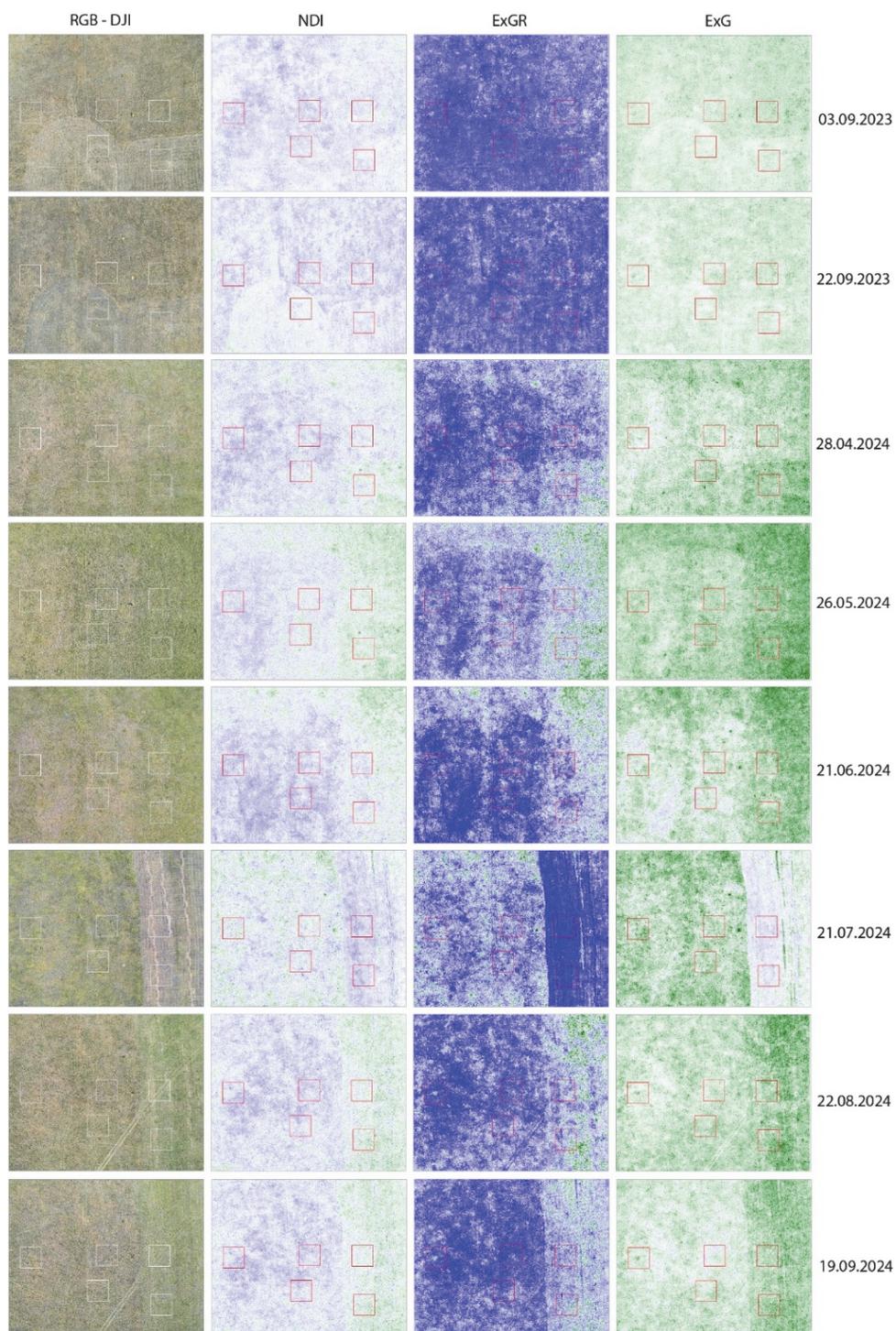


Рис. 4. Пространственное распределение ЦВИ в 2023–2024 гг.

Извлечение числовых показателей ЦВИ из схем позволило выявить степень различий между площадками и продолжительность их сохранения. Площадки № 2 и № 3 имеют, в отличие от других пар площадок, ряды данных по фитомассе, поэтому приводим серию сопоставлений именно по ним (рис. 5). Ход разностных значений NDVI по этой же паре площадок показал тесные взаимосвязи с двумя индексами ЦВИ ( $ExG - 0,86$ ,  $ExGR - 0,72$ ,  $NDI - 0,17$ ).

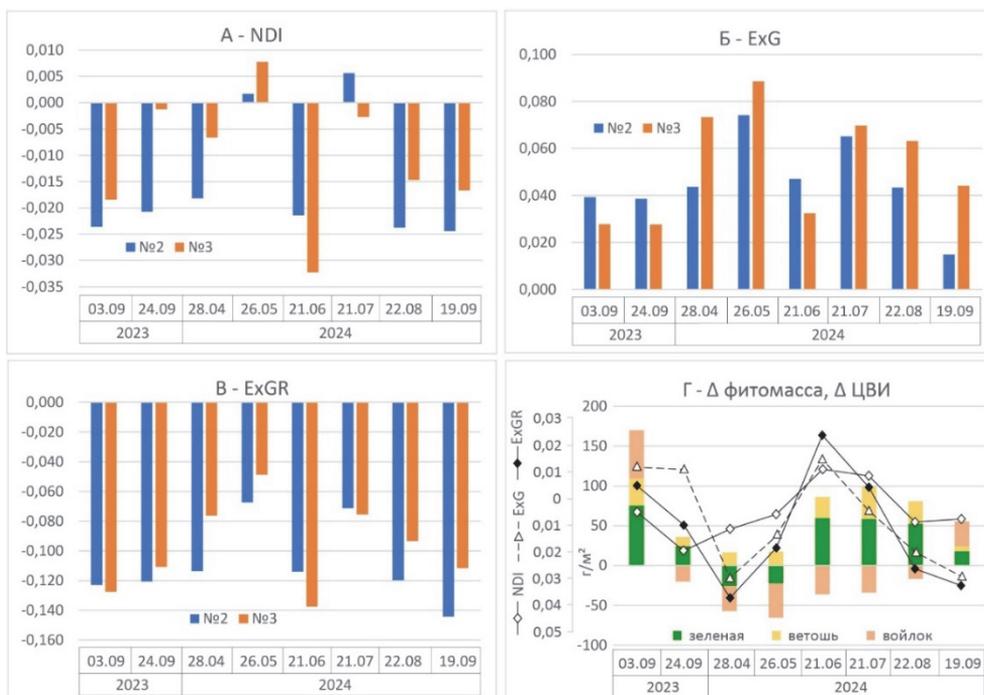


Рис. 5. Распределение значений ЦВИ и разностных значений фитомассы (№ 2–№ 3, г/м²) после сенокоса 03.08.2023

Несмотря на отчетливую взаимосвязь между NDVI и ЦВИ важно понимать, насколько соотносятся эти значения с фактическими параметрами растительного покрова. Выявлено, что полученные данные о фитомассе (средние по трем укусным площадкам) в разностном выражении в целом повторяют динамику различий по ЦВИ (см. рис. 5, Г и табл.).

Несмотря на достаточно высокое пространственное разрешение NDVI Sentinel, корреляция разностных значений несколько ниже, чем у ЦВИ, в то же время прямым сопоставлением (отдельно по площадкам) по зеленой фитомассе показывает гораздо более достоверный результат. При этом следует заметить, что более тесная корреляция прослеживается по показателям площадки № 3, лишенной части фитомассы в результате сенокоса, в том числе ветоши и войлока, перекрывающих часть зеленой фитомассы для фиксации сенсорами.

Таблица

Корреляция показателей спектральных  
и цветных вегетационных индексов и элементов фитомассы

ЦВИ / СВИ	Фитомасса		
	Δ (№ 2–№ 3)		
	Δ зеленая	Δ ветошь	Δ войлок
Δ NDI	0,48	0,64	–0,19
Δ EG	0,62	0,40	0,09
Δ EGR	0,69	0,60	–0,03
Δ NDVI	0,33	0,41	–0,06
Площадка № 2			
	зеленая	ветошь	войлок
NDI	0,04	–0,47	–0,41
EG	0,10	–0,68	–0,68
EGR	0,07	–0,61	–0,58
NDVI	0,50	0,04	–0,56
Площадка № 3			
NDI	–0,30	–0,33	0,17
EG	0,30	–0,13	0,45
EGR	0,08	–0,23	0,38
NDVI	0,86	0,20	0,57

### Заклучение

Исходя из того, что сенокосные угодья являются значимым фактором, определяющим в степных регионах возможность распространения пожаров, сведения о пространственно-временной структуре использования этих угодий являются актуальными. Использование аэрофотоснимков БПЛА и схем распределения ЦВИ, выполненных на их основе, дает возможность качественного картографирования сенокосных угодий и анализа числовых значений ЦВИ в целях мониторинга растительного покрова и для оценки пожарных обстановок на местном уровне.

Полученные результаты о различных реакциях восстанавливающейся после сенокоса растительности при различных гидротермических условиях следует учитывать при создании методологии идентификации сенокосов с использованием материалов ДЗЗ. Индекс NDVI в рассматриваемых условиях показал тесную взаимосвязь с количеством зеленой фитомассы, а цветные вегетационные индексы – при сопоставлении разностных показателей зеленой фитомассы и ветоши.

Потенциальная пожароопасность степных сообществ после проведения сенокосов невысока за счет незначительного количества общей фитомассы и главным образом запасов растительной ветоши. Продолжительность восстановления до исходных показателей мортмассы составляет 1,5–2 вегетационных периода. Очевидно, что по этой причине сенокосение остается одним из наиболее действенных механизмов при организации противопожарных мероприятий.

### Список литературы

*Васильченко А. А.* Картографирование сенокосов в пойменных ландшафтах юга России по разновременным данным Sentinel-2 // Исследование Земли из космоса. 2023. № 4. С. 72–82. <https://doi.org/10.31857/S0205961423030077>

*Зданчук В. А., Артамонова А. И.* Влияние выжигания на степную растительность и улучшение пастбищных угодий // Кормодобывание: сб. тр. отдела кормодобывания Оренбург. науч.-иссл. ин-та мясо-молочного скотоводства. Оренбург: Оренб. кн.-журн. изд-во, 1938. С. 3–20.

О возможности оценки наземной фитомассы степной растительности с помощью цветных вегетационных индексов (по данным съемки с беспилотных систем) / А. А. Аюджанаев, Ж. Б. Алымбаева, М. А. Жарникова, Б. В. Содномов // Вестник Бурятского государственного университета. Биология, география. 2021. Т. 68, № 4. С. 45–53. <https://doi.org/10.18101/2587-7143-2021-4-45-53>

*Хорошев А. В., Калмыкова О. Г., Дусаева Г. Х.* Оценка индекса NDVI как источника информации о наземной фитомассе в степях // Исследование земли из космоса. 2023. № 3. С. 27–43. <https://doi.org/10.31857/S020596142303003X>

*Шинкаренко С. С., Барталев С. А.* Анализ взаимосвязи структурных и спектрально-отражательных характеристик растительности аридных пастбищных ландшафтов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21, № 3. С. 171–187. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-3-171-187>

*Шинкаренко С. С., Барталев С. А.* Анализ влияния видового состава, проективного покрытия и фитомассы растительности аридных пастбищных ландшафтов на их спектрально-отражательные свойства по данным наземных измерений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20, № 3. С. 176–192. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-3-176-192>

*Шинкаренко С. С., Барталев С. А., Литвинова Н. В.* Исследование возможностей определения структурных характеристик растительных сообществ с доминированием тростника по данным спутниковой съемки высокого разрешения, наземных измерений и БПЛА // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21, № 5. С. 188–202. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-5-188-202>

An analysis of the dynamics of areas affected by steppe fires in Western Kazakhstan on the basis of Earth remote sensing data / S. S. Shinkarenko, A. N. Berdengalieva, V. V. Doroshenko, Ya. A. Naichuk // Arid ecosystems. 2023. Vol. 13, N 1. P. 29–38. <https://doi.org/10.1134/S2079096123010122>

Comparison of RGB and Multispectral Unmanned Aerial Vehicle for Monitoring Vegetation Coverage Changes on a Landslide Area / F. Furukawa, L. A. Laneng, H. Ando [et al.] // Drones. 2021. Vol. 5. P. 97. <https://doi.org/10.3390/drones5030097>

Comparison of Satellite and Drone-Based Images at Two Spatial Scales to Evaluate Vegetation Regeneration after Post-Fire Treatments in a Mediterranean Forest / J. L. Martinez, M. E. Lucas-Borja, P. A. Plaza-Alvarez [et al.] // Appl. Sci. 2021. Vol. 11. P. 5423. <https://doi.org/10.3390/app11125423>

*Diaz-Delgado R., Múcher S.* Editorial of Special Issue “Drones for Biodiversity Conservation and Ecological Monitoring” // Drones. 2019. Vol. 3. P. 47. <https://doi.org/10.3390/drones3020047>

*Dubinin M., Lushchekina A., Radeloff V.* Climate, Livestock, and Vegetation: What Drives Fire Increase in the Arid Ecosystems of Southern Russia? // Ecosystems. 2011. Vol. 14. P. 547–562. <https://doi.org/10.1007/s10021-011-9427-9>

Evaluating Post-Fire Vegetation Recovery in Cajander Larch Forests in Northeastern Siberia Using UAV Derived Vegetation Indices / A. C. Talucci, E. Forbath, H. Kropp [et al.] // Remote Sens. 2020. Vol. 12. P. 2970. <https://doi.org/10.3390/rs12182970>

*Larrinaga A. R., Brotons L.* Greenness Indices from a Low-Cost UAV Imagery as Tools for Monitoring Post-Fire Forest Recovery // Drones. 2019. Vol. 3. P. 6. <https://doi.org/10.3390/drones3010006>

*Pavleychik V. M., Chibilev A. A.* Steppe Fires in Conditions the Regime of Reserve and Under Changing Anthropogenic Impacts // Geography and Natural Recourses. 2018. Vol. 39, N 3. P. 212–221. <https://doi.org/10.1134/S1875372818030046>

Pavleychik V. M., Chibilev A. A., Padalko Yu. A. Pyrological Situation in the Steppes of Northern Eurasia // *Doklady Earth Sciences*. 2022. Vol. 505, N 2. P. 591–597. <https://doi.org/10.1134/S1028334X22080141>

Post-Soviet Land-Use Change Affected Fire Regimes on the Eurasian Steppes / A. Dara, M. Baumann, N. Hölzel [et al.] // *Ecosystems*. 2020. Vol. 23, N 3. <https://doi.org/10.1007/s10021-019-00447-w>

Spatial analysis of vegetation density classification in determining environmental impacts using UAV imagery / N. M. P. Jaya, K. D. Harmayani, A. R. Widhiawati [et al.] // *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2022. Vol. V-3-2022. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-V-3-2022-417-2022>

Using Ordinary Digital Cameras in Place of Near-Infrared Sensors to Derive Vegetation Indices for Phenology Studies of High Arctic Vegetation / H. B. Anderson, L. Nilsen, H. Tommervik [et al.] // *Remote Sens*. 2016. Vol. 8. P. 847. <https://doi.org/10.3390/rs8100847>

Vegetation Cover Estimation in Semi-Arid Shrublands after Prescribed Burning: Field-Ground and Drone Image Comparison / A. J. Perez-Luque, M. E. Ramos-Font, M. J. T. Barbieri [et al.] // *Drones*. 2022. Vol. 6. P. 370. <https://doi.org/10.3390/drones6110370>

## References

Vasil'chenko A.A. Kartografirovanie senokosov v poimennykh landshaftakh yuga Rossii po raznovremennym dannym Sentinel-2 [Mapping of hayfields in floodplain landscapes of southern Russia based on Sentinel-2 data from different time periods]. *Issledovanie zemli iz kosmosa* [Earth exploration from space], 2023, no. 4, pp. 72-82. <https://doi.org/10.31857/S0205961423030077>. (in Russian)

Zdanchuk V.A., Artamonova A.I. Vliyanie vyzhiganiya na stepnyuyu rastitelnost i uluchshenie pastbishchnykh ugodii [The effect of burning on steppe vegetation and improvement of pasture lands]. *Kormodobyvanie* [Forage extraction]. Proceedings of the Department of forage production of the Orenburg Scientific Research Institute of Meat and Dairy Cattle Breeding. Orenburg, Orenburg Book and Magazine Publ., 1938. pp. 3-20. (in Russian)

Ayurzhanayev A.A., Alymbaeva Zh.B., Zharnikova M.A., Sodnomov B.V. O vozmozhnosti otsenki nadzemnoi fitomassy stepnoi rastitel'nosti s pomoshch'yu tsvetnykh vegetatsionnykh indeksov (po dannym s'emki s bespilotnykh sistem) [On the possibility of assessing the aboveground phytomass of steppe vegetation using color vegetation indices (according to data from surveys from unmanned systems)]. *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya, geografiya*, 2021, vol. 68, no. 4, pp. 45-53. <https://doi.org/10.18101/2587-7143-2021-4-45-53> (in Russian)

Khoroshev A.V., Kalmykova O.G., Dusaeva G.Kh. Otsenka indeksa NDVI kak istochnika informatsii o nadzemnoi fitomasse v stepyakh [Evaluation of the normalized differential vegetation index as a source of information on aboveground phytomass in steppes]. *Issledovanie zemli iz kosmosa*, 2023, no. 3, pp. 27-43. <https://doi.org/10.31857/S020596142303003X> (in Russian)

Shinkarenko S.S., Bartalev S.A. Analiz vzaimosvyazi strukturnykh i spektral'no-otrazhatel'nykh kharakteristik rastitelnosti aridnykh pastbishchnykh landshaftov [Analysis of the influence of species composition, projective cover, and phytomass of arid landscape pasture vegetation on spectral reflectance properties based on ground measurements]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2023, vol. 20, no. 3, pp. 176-192. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-3-176-192> (in Russian)

Shinkarenko S.S., Bartalev S.A. Analiz vliyaniya vidovogo sostava, proektivnogo pokrytiya i fitomassy rastitelnosti aridnykh pastbishchnykh landshaftov na ikh spektralno-otrazhatelnye svoystva po dannym nazemnykh izmerenii [Analysis of the relationship between structural and spectral-reflective characteristics of vegetation in arid grassland landscapes]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2024, vol. 21, no. 3, pp. 171-187. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-3-171-187> (in Russian)

Shinkarenko S.S., Bartalev S.A., Litvinova N.V. Issledovanie vozmozhnostei opredeleniya strukturnykh kharakteristik rastitelnykh soobshchestv s dominirovaniem trostnika po dannym sputnikovoi s'emki vysokogo razresheniya, nazemnykh izmerenii i BPLA [Research on the possibilities of determining the structural characteristics of plant communities dominated by reeds using high-res-

olution satellite imagery, ground measurements and unmanned aerial vehicles]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2024, vol. 21, no. 5, pp. 188-202. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-5-188-202> (in Russian)

Shinkarenko S.S., Berdengalieva A.N., Doroshenko V.V., Naichuk Ya.A. An analysis of the dynamics of areas affected by steppe fires in Western Kazakhstan on the basis of Earth remote sensing data. *Arid ecosystems*, 2023, vol. 13, no. 1, pp. 29-38. <https://doi.org/10.1134/S2079096123010122>

Furukawa F., Laneng L.A., Ando H. et al. Comparison of RGB and Multispectral Unmanned Aerial Vehicle for Monitoring Vegetation Coverage Changes on a Landslide Area. *Drones*, 2021, vol. 5, pp. 97. <https://doi.org/10.3390/drones5030097>

Martinez J.L., Lucas-Borja M.E., Plaza-Alvarez P.A. et al. Comparison of Satellite and Drone-Based Images at Two Spatial Scales to Evaluate Vegetation Regeneration after Post-Fire Treatments in a Mediterranean Forest. *Appl. Sci.*, 2021, vol. 11, pp. 5423. <https://doi.org/10.3390/app11125423>

Diaz-Delgado R., Múcher S. Editorial of Special Issue “Drones for Biodiversity Conservation and Ecological Monitoring”. *Drones*, 2019, vol. 3, pp. 47. <https://doi.org/10.3390/drones3020047>

Dubinin M., Lushchekina A., Radeloff V. Climate, Livestock, and Vegetation: What Drives Fire Increase in the Arid Ecosystems of Southern Russia? *Ecosystems*, 2011, vol. 14, pp. 547-562. <https://doi.org/10.1007/s10021-011-9427-9>

Talucci A.C., Forbath E., Kropp H. [et al.] Evaluating Post-Fire Vegetation Recovery in Candler Larch Forests in Northeastern Siberia Using UAV Derived Vegetation Indices. *Remote Sens*, 2020, vol. 12, pp. 2970. <https://doi.org/10.3390/rs12182970>

Larrinaga A.R., Brotons L. Greenness Indices from a Low-Cost UAV Imagery as Tools for Monitoring Post-Fire Forest Recovery. *Drones*, 2019, vol. 3, pp. 6. <https://doi.org/10.3390/drones3010006>

Pavleychik V.M., Chibilev A.A. Steppe Fires in Conditions the Regime of Reserve and Under Changing Anthropogenic Impacts. *Geography and Natural Recourses*, 2018, vol. 39, no. 3, pp. 212-221. <https://doi.org/10.1134/S1875372818030046>

Pavleychik V.M., Chibilev A.A., Padalko Yu.A. Pyrological Situation in the Steppes of Northern Eurasia. *Doklady Earth Sciences*, 2022, vol. 505, part 2, pp. 591-597. <https://doi.org/10.1134/S1028334X22080141>

Dara A., Baumann M., Hölzel N. et al. Post-Soviet Land-Use Change Affected Fire Regimes on the Eurasian Steppes. *Ecosystems*, 2020, vol. 23, no. 3. <https://doi.org/10.1007/s10021-019-00447-w>

Jaya N.M.P., Harmayani K.D., Widhiawati A.R. et al. Spatial analysis of vegetation density classification in determining environmental impacts using UAV imagery. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2022, vol. V-3-2022. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-V-3-2022-417-2022>

Anderson H.B., Nilsen L., Tommervik H. et al. Using Ordinary Digital Cameras in Place of Near-Infrared Sensors to Derive Vegetation Indices for Phenology Studies of High Arctic Vegetation. *Remote Sens*, 2016, vol. 8, pp. 847. <https://doi.org/10.3390/rs8100847>

Perez-Luque A.J., Ramos-Font M.E., Barbieri M.J.T. et al. Vegetation Cover Estimation in Semi-Arid Shrublands after Prescribed Burning: Field-Ground and Drone Image Comparison. *Drones*, 2022, vol. 6, pp. 370. <https://doi.org/10.3390/drones6110370>

#### Сведения об авторе

**Павлейчик Владимир Михайлович**

кандидат географических наук,  
ведущий научный сотрудник  
Институт степи УрО РАН  
Россия, 460000, г. Оренбург,  
ул. Пионерская, 11  
e-mail: vmpavleychik@gmail.ru

#### Information about the author

**Pavleichik Vladimir Mikhailovich**

Candidate of Sciences (Geography),  
Leading Research Scientist  
Institute of Steppe UB RAS  
11, Pionerskaya st., Orenburg, 460000,  
Russian Federation  
e-mail: vmpavleychik@gmail.ru

Код научной специальности: 1.6.21, 1.6.19

Статья поступила в редакцию 27.01.2025; одобрена после рецензирования 11.03.2025; принята к публикации 11.03.2025  
The article was submitted January, 27, 2025; approved after reviewing March, 11, 2025; accepted for publication March, 11, 2025