

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ СЕНОКОСОВ В ПОЙМЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ ЮГА РОССИИ ПО РАЗНОВРЕМЕННЫМ ДАННЫМ SENTINEL-2

© 2023 г. А. А. Васильченко*

*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН,
Волгоград, Россия*

**E-mail: vasilchenko-a@vifanc.ru*

Поступила в редакцию 18.10.2022 г.

В работе предложен новый метод картографирования сенокосов в пойменных ландшафтах, основанный на использовании разновременных спектрально-анализированных данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) высокого пространственного разрешения (Sentinel-2) с использованием экспертного порога КСЯ (коэффициент спектральной яркости) в красном канале (максимальный композит значений за вегетационный период) для свежескошенной растительности с корректировкой по значениям максимального композита за вегетационный сезон индекса NDVI (англ. Normalized Difference Vegetation Index – нормализованный разностный вегетационный индекс). Выявлены закономерности изменения значений КСЯ на скошенных и не скошенных территориях в каналах RGB, NIR, а также значений индексов NDVI и NDWI. Проведено картографирование годовых скошенных площадей в пределах Волго-Ахтубинской поймы на территории Волгоградской области. Здесь ежегодно скашивается в среднем 12 тыс. га (8%) территории, при этом большая часть площадей скашивается в августе–сентябре (более 65% площадей). Большинство скошенных территорий имеют площадь от 1 до 10 га. При этом, за последние 6 лет наблюдается тенденция увеличения как общих годовых скошенных площадей, так и площадей сенокосов. Выявлено, что основные ежегодно скашиваемые площади концентрируются вокруг объектов инфраструктуры: ближе к потребителям и транспортным путям.

Ключевые слова: сенокос, коэффициент спектральной яркости, Волго-Ахтубинская пойма, дистанционное зондирование, Sentinel-2, NDVI

DOI: 10.31857/S0205961423030077, **EDN:** TYQORU

ВВЕДЕНИЕ

Сенокос – участок поверхности земли, занятый травами, предназначенными для косыбы на сено (Экологический..., 1989). На территории юга России, в пойменных ландшафтах именно сенокосение составляет большую часть хозяйственной деятельности (Кулик и др., 2021). Самые крупные реки юга России (Волга, Дон, Кубань) зарегулированы гидротехническими сооружениями, изменившими естественное распределение речного стока, что неизбежно сказывается на состоянии пойменных экосистем (Кривошей, 2016). Измененный гидрологический режим не обеспечивает нужного обводнения пойм в период весеннего половодья, что приводит к деградации ландшафтов, в том числе сенокосных лугов (Лобойко, 2018; Kuzmina et al., 2018; Solodovnikov, Shinkarenko, 2020). В связи с этим возрастает потребность в детальном анализе их состояния, основанном на достоверных пространственных данных. Первым шагом для оценки состояния сенокосов является картографирование их границ, определение периодичности сенокосения.

В дальнейшем это позволит проводить анализ состояния растительности на сенокосах как наземными, так и дистанционными методами.

Существующие системы мониторинга ландшафтов, в том числе пойменных, основываются на автоматической и полуавтоматической (с использованием нейросетей) классификации данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) среднего и низкого пространственного разрешения. К таким продуктам можно отнести GLC30 (GlobeLand30 dataset) пространственного разрешения 30 м (Chen et al., 2014), ESRI (англ. Environmental Systems Research Institute) разрешения 10 м (Karra et al., 2021), а также материалы VegaScience (Loupian et al., 2022). Земли, на которых производится сенокосение, относятся большинством продуктов по типу земного покрова к лугам, поэтому их выделение и дальнейший анализ с использованием данных высокого пространственного разрешения поможет решить задачи оценки экологического состояния и мониторинга пойменных земель. Текущие исследования в области картографирования сенокосов ограни-

Таблица 1. Даты съемки исходных материалов Sentinel-2

2017	2018	2019	2020	2021	2022
06.08	28.08	13.08	08.07 01.09	08.07 17.08	29.05 13.06 08.07
22.09	22.09	12.09	21.09	16.09	22.08 11.09

чиваются картографированием пастбищ в среднем и низком масштабах (Лазарева и др., 2017; Онаев и др., 2018), а также ретроспективном анализе данных ДЗЗ, где сенокосные площади относятся к категории “луга” (Балдина, Трошко, 2016).

Зональные ландшафты юга европейской России большей частью распаханы, а в зоне полупустынь и пустынь растительность имеет очень низкую продуктивность, не способную обеспечить поголовье скота пищей (Шинкаренко, Барталев, 2020а, 2020б). По этой причине потребность в сене, получаемом в пойменных ландшафтах проявляется постоянно, а основными заинтересованными лицами и потребителями данной продукции являются животноводы. Ситуация с заготовкой корма на зиму всегда не стабильна и зависит от множества факторов: поголовье скота, цены на альтернативные корма, метеоусловия за год, которые определяют урожайность трав на пастбищах. Активная фаза сенокоса при этом приходится на конец августа–начало сентября, когда животноводы корректируют зимние запасы. В неблагоприятные годы животноводам приходится экстренно корректировать заготовку из-за риска истощения растительности на естественных пастбищах. Засуха 2020 г. актуализировала ценность сенозаготовки: из-за неблагоприятных условий и перевыпаса скота в Калмыкии и Астраханской области уже к началу июля на пастбищах не осталось растительности, что привело к усилению пыльных бурь и росту площадей опустынивания (Шинкаренко, Барталев, 2020а, 2021). Фермеры были вынуждены закупать сено уже летом 2020 г., несмотря на это из-за недостатка корма поголовье овец сократилось примерно на 1 млн голов. Таким образом, данные о площадях сенокосов и их состоянии играют важную роль для животноводческой отрасли.

Целью данной работы является картографирование ежегодных скишиваемых площадей в пределах Волго-Ахтубинской поймы на территории Волгоградской области с помощью разновременных композитных изображений Sentinel-2.

ОБЪЕКТ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Территорией исследования было выбрано междуречье Волги и Ахтубы в пределах Волго-

градской области. Это территория Волго-Ахтубинской поймы, входящая в состав Среднеахтубинского и Ленинского районов Волгоградской области (рис. 1). Общая площадь пойменной части 1780 км². Пойма представлена типичными пойменными ландшафтами: озерами, ериками, протоками, старицами (Брылев, Овчарова, 2011). Особенности рельефа поймы позволяют воде задерживаться в понижениях после половодья, благодаря этому здесь формируются плодородные заливные луга, обладающие огромной ценностью в условиях засушливого климата зоны полупустыни и пустыни. Из-за динамической гидрологической ситуации в пойме нижней Волги выявить пространственные закономерности в распределении сенокосов достаточно проблематично. При этом, заливаемые луга Волго-Ахтубинской поймы (ВАП) являются единственным источником для заготовки сена для левобережья Ахтубы и правобережья Волги.

На территории исследования, на основе экспертного дешифрирования было выявлено более 80 животноводческих ферм. В буферной зоне 20 км ниже по течению Волги выявлено еще более 140 ферм, расположенных преимущественно на коренных берегах. Источником сена для большинства животноводческих ферм Калмыкии, Астраханской области и юга Волгоградской являются именно луга ВАП.

Так как сенокосы в пределах поймы Волги и Ахтубы имеют дискретное распространение, и порой, минимальные размеры, для их картографирования требуются данные ДЗЗ высокого пространственного разрешения. Исходными данными дистанционного зондирования для картографирования сенокосов являются спектрзональные спутниковые снимки Sentinel-2A/2B пространственного разрешения 10 м. Территория исследования лежит в пределах 4 тайлов Sentinel-2: T38UNU, T38UMU, T38UNV, T38UMV (рис. 1). Базу данных космических снимков формируют 17 безоблачных композитных изображений глубиной архива 6 лет. До запуска Sentinel-2В в 2017 г. количество безоблачных снимков недостаточное, по этой причине 2015–2016 гг. не охватываются данным исследованием. Сезонная динамика NDVI сенокосов определялась по недельным композитам NDVI, полученным с помощью сервиса “Bega-Science” (Loupian et al., 2022) и ЦКП “ИКИ-Мониторинг” (Лупян и др., 2015).

Источником для получения спектрзональных данных служил сервис Earthexplorer геологической службы США (USGS). Уровень обработки получаемых данных — L1C. Радиометрическая калибровка и коррекция атмосферных искажений производилась в геоинформационной системе QGIS с помощью модуля SCP (Semi-automatic classification plugin), метод обработки — DOS1.

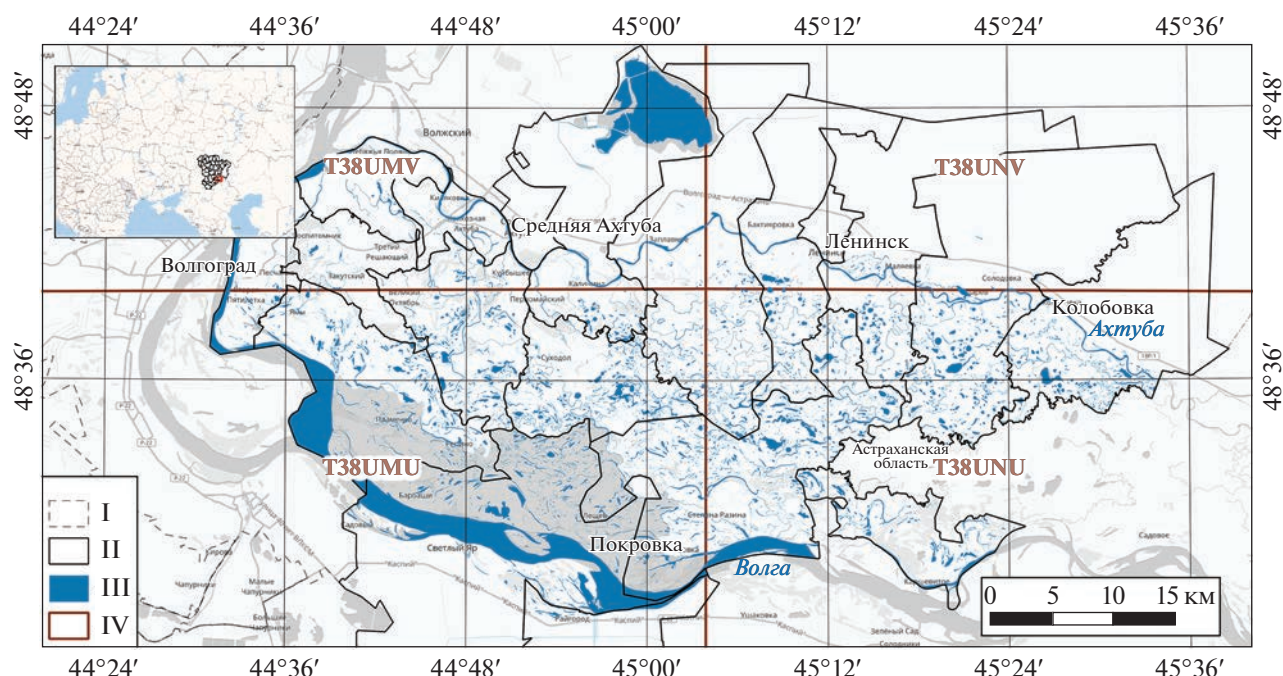


Рис. 1. Район исследований (I — границы г. Волгоград, II — границы муниципальных образований на территории исследований, III — водные объекты, IV — границы тайлов Sentinel-2).

На комбинации каналов “естественные цвета”, в период активного сенокосения, сенокосы достаточно четко различаются по прямым дешифровочным признакам (Барталев и др., 2016). При этом картографирование сенокосов, скошенных в начале сезона, по одномоментному снимку, полученному через несколько недель после сенокоса, является проблематичной задачей, требующей знания косвенных дешифровочных признаков. В условиях засушливого климата юго-восточной части Волгоградской области растительность на скошенных участках в оставшийся период вегетации часто отрастать не успевает. Данный факт подтвердился в ходе сезонного мониторинга пойменных ландшафтов в июле–сентябре 2021 и 2022 гг. Поэтому, за общую годовую скошенную площадь следует понимать объединенную площадь скошенных участков, полученных на разные даты.

Картографирование сенокосов основано на двух показателях, определяемых по спутниковым изображениям. При скашивании травы, в условиях засушливого климата юга России, спектральные характеристики скошенных участков изменяются до конца вегетационного периода по сравнению с нетронутыми лугами. Наибольшие изменения при этом наблюдаются в значениях КСЯ (коэффициент спектральной яркости) и индекса NDVI (рис. 2).

В диапазоне спектра RGB, средние значения коэффициента спектральной яркости скошенных участков больше, чем на скошенных позднее

(в голубом на 80%, в зеленом на 60%, в красном на 115%). По ходу сезона значения КСЯ стабилизируются, но все так же отличаются от начальных (в голубом на 30%, зеленом на 20%, красном на 15%). В ближнем инфракрасном канале различия между скошенными и не скошенными площадями не превышают 20% и также стабилизируются к концу вегетации.

Значения NDVI на свежескошенных участках в июле-августе ниже в 2 раза, по сравнению с участками, скошенными позже. В сентябре наблюдается относительная стабилизация значений NDVI, при этом амплитуда значений не превышает 30%. Значения индекса NDWI в июле-августе, рассчитанные с помощью канала SWIR2 спутника Sentinel 2 на скошенных участках выше, чем на скошенных ранее. Это связано с более сильным испарением сохнувшей скошенной травы. Значения NDWI сентября несколько ниже, чем в августе. Это связано с более низкими запасами влаги в растительности к концу вегетационного сезона. Чем позже дата скоса травы, тем меньшие различия наблюдаются в средних значениях NDWI: в июле — до 220%, августе — до 110%, в сентябре — до 70%. Наибольшие диапазоны отклонений КСЯ на скошенных участках выявлены в красном канале. Перепады значений на свежескошенных участках достигают 30–120%. При этом, наибольшие амплитуды наблюдаются в июле-августе, в момент наибольшего контрастирования с вегетирующей растительностью.

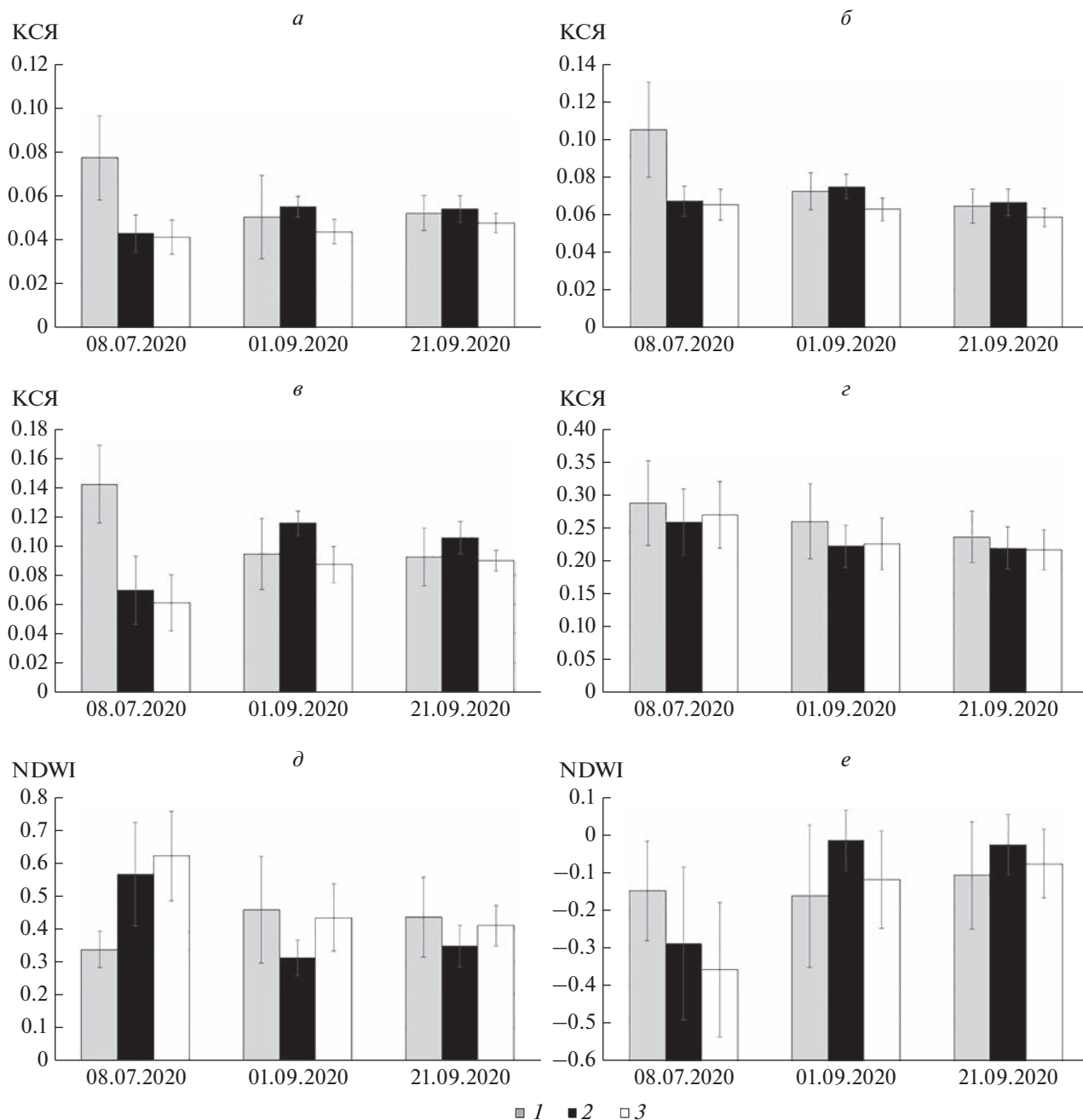


Рис. 2. Показатели КСЯ в голубом (а), зеленом (б), красном (в), ближнем инфракрасном (г) каналах, NDVI (д) и NDWI (е), 1 – сенокосение до 08.07.2020 г., 2 – сенокосение в период 08.07.2020–01.09.2020 г., 3 – сенокосение в период 02–21.09.2020 г.

Зафиксировать повышение значений КСЯ на протяжении сезона позволяет создание сезонного максимального композита. Введение экспертного порога при этом позволит выделить сенокосы на заранее подготовленных ареалах распространения. Такая методика подходит для пойм небольших рек, где сенокосение является доминирующей частью хозяйственной деятельности. Однако, пойменные ландшафты юга России от-

личаются высокой антропогенной преобразованностью, поэтому отражение в красном канале повышается не только на сенокосах, но и держится на высоком уровне на территориях с отсутствием растительности, например, обработанной пашни и других антропогенных объектах, либо малопродуктивных участков поймы, которые крайне редко заливаются в половодье. Поэтому, для отсеечения таких территорий требуется корректировка с

помощью нормализованного разностного индекса растительности NDVI, значения которого будут значительно выше у сенокосных лугов по сравнению с малопродуктивными землями и антропогенными объектами.

Используя сезонные композиты максимальных значений КСЯ красного канала и NDVI можно добиться достаточно точного выделения скашиваемых за год площадей. При этом, каждый годовой композит классифицируется согласно соответствующему экспертному порогу, определяемому в зависимости от особенностей ландшафтов. В условиях северной части ВАП для красного канала значение экспертного порога составило 0.09, а для NDVI – 0.5. Из-за особенностей рельефа Волгоградской части поймы, после пика половодья вода здесь уходит постепенно: сперва в западной и центральной ее частях, сенокосение здесь начинается намного раньше, чем в северо-восточной и восточной. Разница составляет до 3 нед. Поэтому, сезонный композит NDVI из различных по датам спутниковых изображений позволяет зафиксировать значения до скашивания, но после схода воды.

Для корректировки и вычитания артефактов формируется максимально разнообразная база данных пространственных объектов на территории исследования, включающая в себя информацию о водных объектах (меженные данные), лесных насаждениях, сельскохозяйственных полях (обрабатываемых и неиспользуемых), селитебных территориях. Набор таких данных, на территорию исследования был подготовлен автором в рамках разработки web-ГИС орошаемых земель Волго-Ахтубинской поймы на территории Волгоградской области (<https://ozvap.nextgis.com/>). Это позволило исключить данные территории при картографировании сенокосов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Использование сезонного максимального композита КСЯ красного канала с подбираемым для сенокосов экспертным порогом значений с корректировкой по максимальному композиту NDVI за сезон позволило выделить за период с 2017–2022 гг. более 20 тыс. сенокосов общей площадью 75.9 тыс. га. Большая часть выделенных площадей сосредотачивается в северо-восточной заливаемой части Волгоградской поймы. Предложенный подход позволяет выделить скошенные за сезон площади, а также отделить территории, скошенные годом ранее. На спутниковых изображениях свежескошенные территории достаточно сильно контрастируют с окружающей нескошенной местностью (рис. 3). Нескашиваемая растительность может быть отделена от сенокосов по данным ДЗЗ в период, когда ее показатели КСЯ

наиболее контрастируют с сенокосами, т.е. в краткие сроки после скашивания.

Сезонная динамика NDVI скашиваемых и не скашиваемых участков сильно различается (рис. 4). Для заливаемых в половодье земель характерен минимум NDVI в конце апреля–мае, вызванный стоянием воды на пойме. На скашиваемых участках, в большинстве случаев, заливаемых в период половодья, значения NDVI резко снижаются после скашивания и по ходу сезона могут еще несколько раз изменяться с разной амплитудой. В условиях Волго-Ахтубинской поймы в пределах от 25 до 35 нед. года это может быть связано с повторным отрастанием сорных трав, использованием площадей в качестве пастбищ. Сезонный ход КСЯ в красном диапазоне для скошенных участков имеет один резкий подъем в период после скашивания. Особенностью скошенных площадей здесь можно назвать единоразовое повышение значений, а также их стабильные показатели выше определенного экспертного порога для их дешифрирования. КСЯ в красном диапазоне стабильно выше для нескошенных площадей только в том случае, если это является антропогенно-преобразованным объектом (дороги, здания, засоленные территории). В этом случае, контраст значений КСЯ и NDVI заметно выше, что позволяет использовать зафиксированные максимумы в композитах для проведения дешифрирования и картографирования.

К очевидным недостаткам данного метода картографирования можно отнести ошибочное выделение редины и прогалов в лесных массивах на песчаных почвах. В данном случае КСЯ красного канала в таких местах по максимальному композиту находится на уровне свежескошенной растительности, а подстилающая поверхность дает стабильно высокие показатели NDVI. Такие артефакты могут удаляться с помощью маски лесной растительности, где массивы леса выделены единым заполненным полигоном. Еще одним недостатком способа можно выделить ошибочное выделение прибрежной водно-болотной растительности, которая имеет высокие годовые значения, как и КСЯ, так и NDVI. Решением этой проблемы могла бы стать маска по буферу от водных объектов. Однако, границы многих сенокосов проходят вплотную к водным объектам, а уровни воды в течение сезона находятся в постоянной динамике. Поэтому, создание универсальной маски для фильтрации артефактов береговых комплексов затруднено и не является целесообразным.

Следует заметить, что количество таких артефактов не столь велико, общая площадь вручную удаленных артефактов не превышает 5%, что является высокой точностью картографирования (Хлебникова, Опритова, 2017).

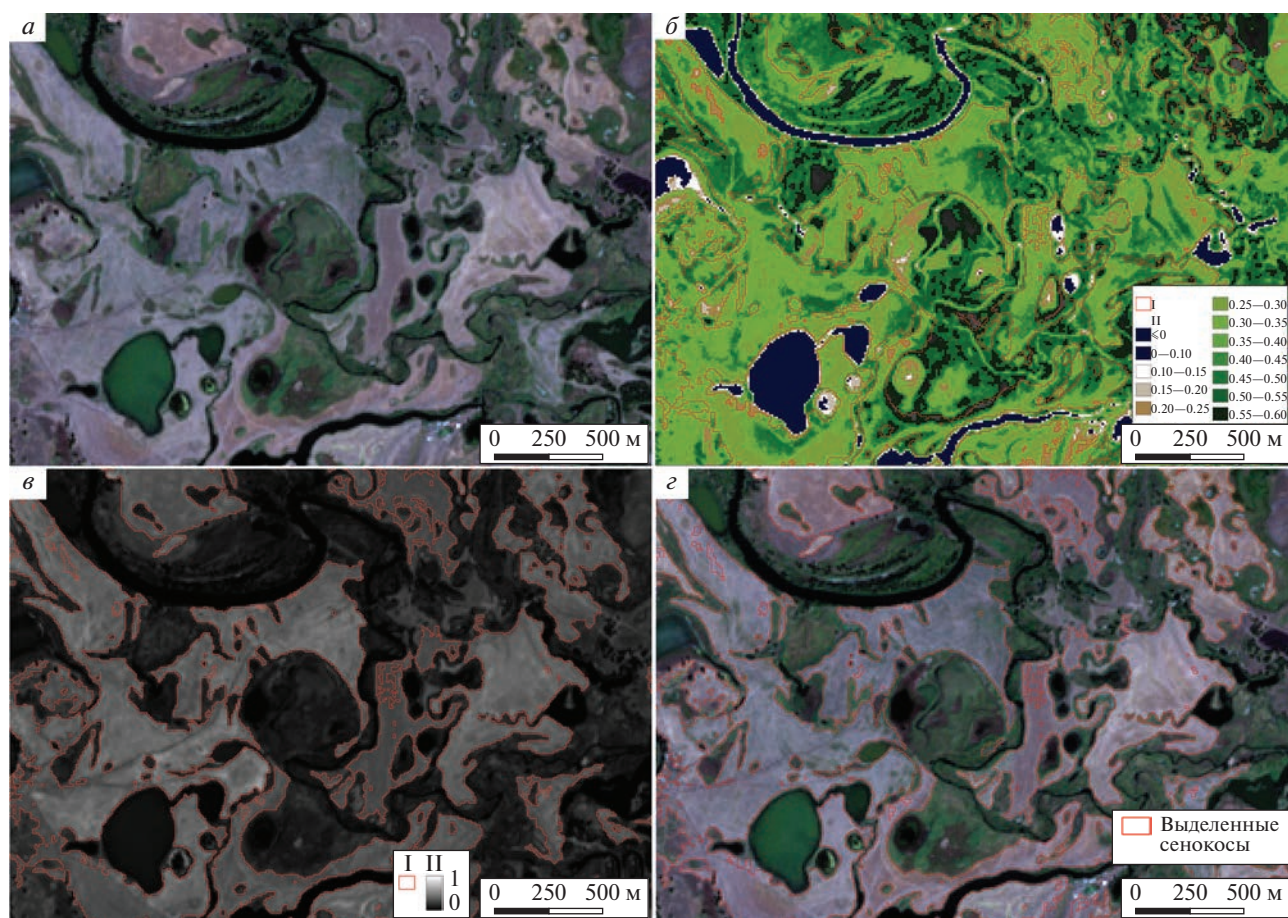


Рис. 3. Пример выделения сенокосов на основе предложенного подхода (*а* – исходный RGB композит; *б* – композит максимального сезонного NDVI: I – границы выделенных сенокосов, II – интерпретация значений NDVI; *в* – композит максимального КСЯ в красном канале: I – границы выделенных сенокосов, II – интерпретация значений КСЯ; *г* – выделенные площади сенокосов).

Ежегодно, в пределах Волгоградской части Волго-Ахтубинской поймы, скашивается в среднем 12 тыс. га (8%) территории, при этом большая часть площадей скашивается в августе-сентябре (более 65% площадей). Динамика годовых площадей сенокосов мало зависит напрямую от климатических и гидрологических факторов. Большее влияние на покос имеет спрос на сено в тот или иной год, который зависит от поголовья скота и продуктивности зональных пастбищ, которая связана с количеством осадков. Гидрологические факторы же влияют больше на дату сенокоса. Таким образом, общие годовые площади сенокосов в период с 2017 по 2019 г. не превышали средние значения (7.6 тыс. га; 8.3 тыс. га; 7.0 га. соответственно). Засуха 2020 г. (Шинкаренко., Барталев, 2020а), пандемия COVID-19, отсутствие новых площадок для торговли и закупки кормовой базы сильно повысили запросы животноводов в сенозаготовке. В 2020 г. площадь сенокосов стала самой большой за весь период наблюдения в данном исследовании (19.3 тыс. га).

В 2021 и 2022 гг. также отличались значительными скошенными площадями (16.3 тыс. га; 15.4 тыс. га соответственно). Основные площади докашиваются в августе-сентябре, а концентрация новых скошенных площадей в 2020–2022 гг., территориально приурочена к центральной части поймы. Также этот факт можно связать с строительством ГТС на водотоках (Павлова, 2022) и регулировании стока и расчистки таких ериков как: Старый Каширин, Судомойка, Верблюды, Проран, Дударев.

Динамика повторяемости скашивания за 6 лет показывает (рис. 5, 6), что чаще всего площади скашиваются единожды (13 тыс. га.). Это подтверждает предположение о том, что необходимость в запасах сена прогнозироваться не может и зависит от факторов на протяжении сезона.

Общая косимая площадь за 6 лет составила 33.8 тыс. га. При этом, площадь единожды скошенных участков составила 13.2 тыс. га. Пространственное расположение единожды скошенных участков при этом концентрируется в западных и юго-западных районах поймы, вблизи

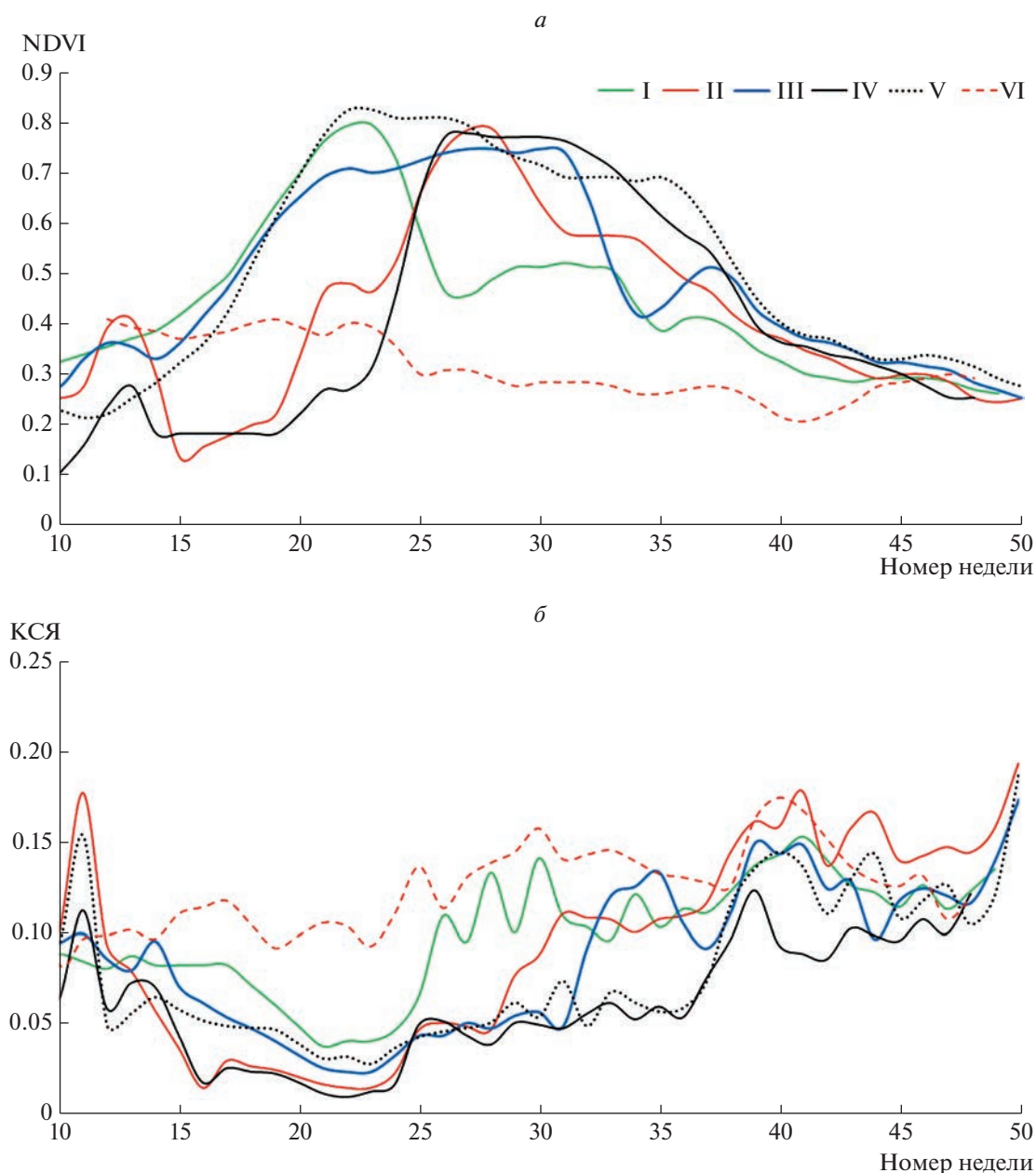


Рис. 4. Сезонная динамика NDVI (а) и КСЯ в красном диапазоне (б) для скашиваемых (I–III) и не скашиваемых участков (IV–VI).

населенных пунктов. Наиболее частая повторяемость скашивания территорий (от 4 до 6 лет) локализуется на территориях, находящихся в стороне от сельскохозяйственных полей, и при этом, вблизи к населенным пунктам и доступным дорогам и переправам через р. Ахтуба. Такие территории наблюдаются в районе пос. Куйбышев (10 км от автомобильного моста через Ахтубу), южнее г. Ленинск (7 км от автомобильного моста через Ахтубу), в районе пос. Царев (3 км от паромной переправы), а также в междуречье Волги и Старой Ахтубы (до 3 км от гравийно-песчаной дамбы Ле-

нинск-Каршевитое). Также на распределение сенокосов могут влиять регулярные ландшафтные пожары (Шинкаренко и др., 2022), что требует проведения дополнительных исследований.

Анализ размерных классов сенокосов показал, что большинство скошенных площадей (около 40% годового скоса) имеют площадь от 1 до 10 га. Это связано как с природными условиями (расчлененность протоками и гривами, лесными массивами и водоемами), а также с возможным разбиением единых сенокосных участков при выделении на более мелкие временными и постоянными

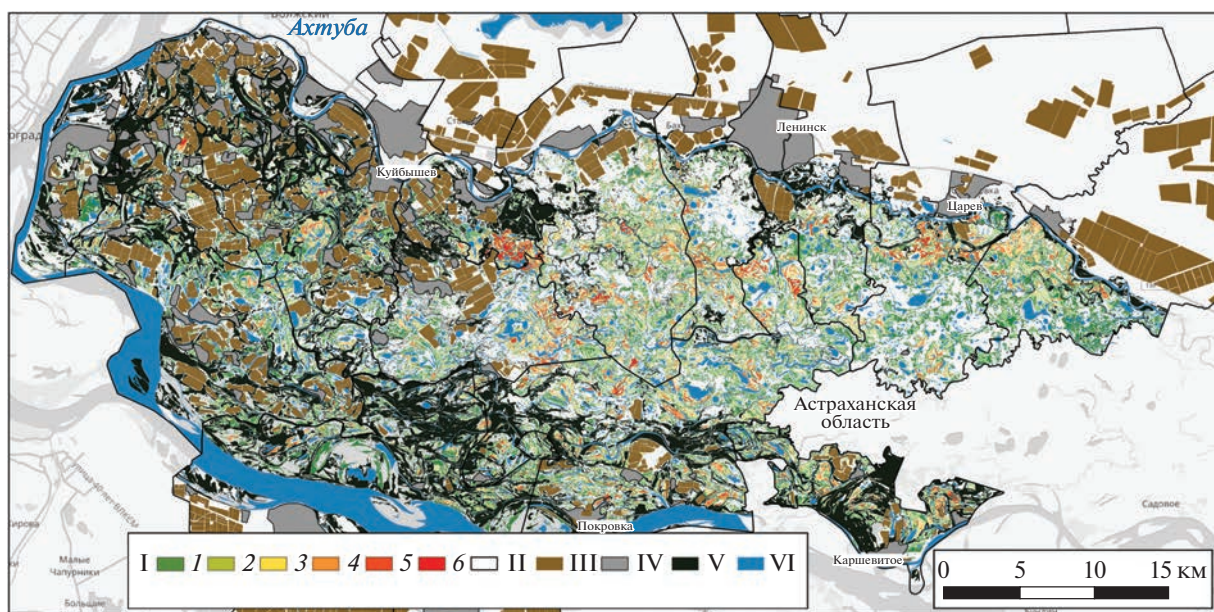


Рис. 5. Повторяемость сенокосений в период 2017–2022 гг.: I – повторяемость скоса (от 1 до 6 раз); II – административные границы; III – пашни; IV – территории населенных пунктов; V – лесные насаждения; VI – водные объекты (меженные данные).

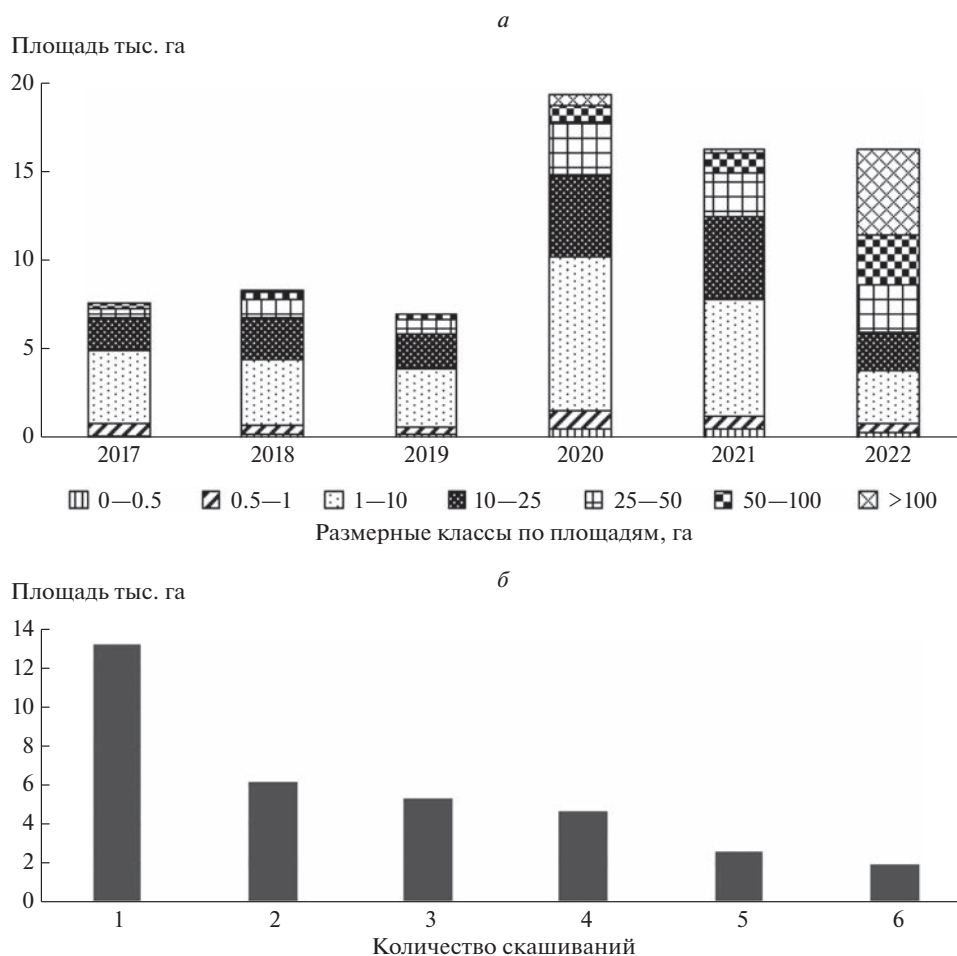


Рис. 6. Динамика площадей сенокосов в 2017–2022 гг.: а – с учетом площади объектов; б – с учетом повторяемости скашивания территорий.

грунтовыми дорогами. Количество сенокосов более высокой площади фиксируется в годы с большими общими площадями скоса. Наиболее крупные при этом сенокосы зафиксированы в 2022 г. (более 100 га, 30% годовой площади). Связано это с неполнотой спутниковых данных (высокая облачность в сентябре–октябре), что не позволило выделить большинство сенокосных дорог.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен новый метод картографирования сенокосов на основе композита максимальных значений коэффициента спектральной яркости в красном канале за вегетационный сезон с корректировкой по максимальным значениям NDVI за сезон. Выявлены закономерности изменения показателей КСЯ в красном канале и NDVI на скошенных и не скошенных участках, перепады которых могут достигать до 120% от значений нескошенных площадей.

В результате исследований было установлено, что в пределах Волго-Ахтубинской поймы на территории Волгоградской области ежегодно скашивается около 8% территории. При этом, за последние 6 лет наблюдается тенденция увеличения как общих годовых скошенных площадей, так и площадей сенокосов. При этом, закономерности повышения скоса зависят, в основном, от запросов животноводов. Выявлено, что основные ежегодно скашиваемые площади концентрируются вокруг объектов инфраструктуры: ближе к потребителям и транспортным путям.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках Госзадания ФНЦ агроэкологии РАН №№ 122020100311-3, 122020100405-9 и 122020100406-6

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Балдина Е.А., Трошко К.А. Картографирование современного состояния и многолетних изменений в использовании сельскохозяйственных земель в дельте Волги // Геодезия и картография. 2016. № 11. С. 39–46. <https://doi.org/10.22389/0016-7126-2016-917-11-39-46>
- Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Луян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А., Шабанов Н.В. Спутниковое картографирование растительного покрова России // М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.
- Брылев В.А., Овчарова А.Ю. Эколого-экономическая оптимизация обводнения Волго-Ахтубинской поймы // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2013. № 5(177). С. 67–70.
- Кривошей В.А. Река Волга (проблемы и решения). 2015. М.: ООО Журнал “РТ”. 92 с.
- Кулик К.Н., Манаенков А.С., Есмагулова Б.Ж. Лесная мелiorация пастбищ засушливой зоны РФ и пути повышения ее эффективности // Изв. Нижневолжского

агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 3(63). С. 30–40. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2021-03-02>

Лазарева В.Г., Бананова В.А., Неуен В. Картирование растительности Сарпинской низменности в пределах Республики Калмыкия методами дистанционного зондирования и ГИС // Успехи современного естествознания. 2017. № 12. С. 178–183.

Лобойко В.Ф., Овчарова А.Ю., Никитина Н.С. Особенности водного режима Нижней Волги и его влияние на состояние северо-западной части Волго-Ахтубинской поймы // Изв. Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее образование. 2018. № 4(52). С. 89–96.

<https://doi.org/10.32786/2071-9485-2018-04-11>

Луян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Кашицкий А.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Суднева О.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 263–284.

Онаев М.К., Туктаров Р.Б., Тарбаев В.А., Гафуров В.А. Использование спутниковых методов исследований в изучении режима затопления и современного состояния растительного покрова лиманов // Успехи современного естествознания. 2018. № 7. С. 183–188.

Павлова В. Обводнение Волго-Ахтубинской поймы – важнейший проект по оздоровлению Волги // Гидротехника. 2020. № 2(59). С. 36–37.

Хлебникова Т.А., Оприцова О.А. Экспериментальные исследования современных программных продуктов для моделирования геопространства // Вестник СГУГиТ. Т. 22. № 1. 2017. С. 119–132.

Шинкаренко С.С., Барталев С.А. Последствия пыльных бурь 2020 г. на юге европейской части России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 7. С. 270–275. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-7-270-275>

Шинкаренко С.С., Барталев С.А. 2020б Сезонная динамика NDVI пастбищных ландшафтов Северного Прикаспия по данным MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 4. С. 179–194. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-4-179-194>

Шинкаренко С.С., Барталев С.А. Оценка площади опустынивания на юге европейской части России в 2021 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 4. С. 291–297. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-4-291-297>

Шинкаренко С.С., Барталев С.А., Берденгалиева А.Н., Иванов Н.М. Пространственно-временной анализ горимости пойменных ландшафтов Нижней Волги // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 1. С. 143–157. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2022-19-1-143-157>

Экологический энциклопедический словарь. Кишинев: Главная редакция Молдавской советской энциклопедии. И.И. Дедю: 1989. 406 с.

Электронный ресурс <https://ozvap.nextgis.com/>.

Chen J., Ban Y., Li S. China: Open access to Earth land-cover map // *Nature*. 2014. V. 514(7523). P. 434. <https://doi.org/10.1038/514434c>

Karra K., Kontgis C., Statman-Weil Z., Mazzariello J.C., Mathis M., Brumby S.P. Global land use/land cover with Sentinel-2 and deep learning // 2021 IEEE Intern. Geoscience and Remote Sensing Symp. (IGARSS). 2021. P. 4704–4707. <https://doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.9553499>.

Kuzmina Zh.V., Treshkin S.E., Shinkarenko S.S. Effects of River Control and Climate Changes on the Dynamics of the Terrestrial Ecosystems of the Lower Volga Region // *Arid*

Ecosystems. 2018. V. 8. № 4. P. 231–244.

<https://doi.org/10.1134/S2079096118040066>

Loupian E., Burtsev M., Proshin A., Kashnitskii A., Balashov I., Bartalev S., Konstantinova A., Kobets D., Radchenko M., Tolpin V., Uvarov I. Usage Experience and Capabilities of the VEGA-Science System // *Remote Sensing*. 2022. V. 14. № 1. P. 77.

<https://doi.org/10.3390/rs14010077>

Solodovnikov D.A., Shinkarenko S.S. Present-Day Hydrological and Hydrogeological Regularities in the Formation of River Floodplains in the Middle Don Basin // *Water Resources*. 2020. V. 47. № 6. P. 719–728.

<https://doi.org/10.1134/S0097807820060135>

Hayfields Mapping in the Floodplain Landscapes of Southern Russia Based on Multi-Temporal Sentinel-2 Data

A. A. Vasilchenko

Federal scientific center of agroecology, complex meliorations and agroforestry of RAS, Volgograd, Russia

The paper proposes a new method for mapping hayfields in floodplain landscapes based on the use of multi-temporal spectral-zonal data of remote sensing of the Earth (ERS) of high spatial resolution (Sentinel-2) using an expert threshold of SBC (spectral brightness coefficient) in the red channel (the maximum composite of values for the vegetation period). period) for freshly cut vegetation adjusted for the values of the maximum composite for the growing season of the NDVI index (Normalized Difference Vegetation Index). The regularities of changes in the values of SBC in the sloping and non-sloped territories in the RGB, NIR channels, as well as the values of the NDVI and NDWI indices were revealed. The mapping of annual sloping areas within the Volga-Akhtuba floodplain in the territory of the Volgograd region was carried out. Here, an average of 12 thousand hectares (8%) of the territory is mowed annually, while most of the area is mowed in August-September (more than 65% of the area). Most sloping areas have an area of 1 to 10 ha. At the same time, over the past 6 years, there has been a tendency to increase both the total annual mowed areas and the areas of hayfields. It was revealed that the main annually mowed areas are concentrated around infrastructure facilities: closer to consumers and transport routes.

Keywords: haymaking, spectral brightness coefficient, Volga-Akhtuba floodplain, remote sensing, Sentinel-2, NDVI

REFERENCES

Baldina E.A., Troshko K.A. Kartografirovaniye sovremenno-go sostoyaniya i mnogoletnih izmeneniy v ispol'zovanii sel'skohozyajstvennykh zemel' v del'te Volgi [Trends in botanical diversity under the influence of desertification in the Republic of Kalmykia] // *Geodeziya i kartografiya*. 2016. № 11. P. 39–46. (In Russian)

Bartalev S.A., Egorov V.A., Zharko V.O., Loupian E.A., Plotnikov D.E., Khvostikov S.A., Shabanov N.V. Sputnikovoe kartografirovaniye rastitel'nogo pokrova Rossii [Land cover mapping over Russia using Earth observation data] // Moscow: IKI RAN, 2016, 208 p. (In Russian).

Brylev V.A., Ovcharova A. YU. Ekologo-ekonomicheskaya optimizatsiya obvodneniya Volgo-Ahtubinskoj pojmy [Ecological and economic optimization of flooding of the Volga-Akhtuba floodplain] // *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskij region. Seriya: Estestvennye nauki*. 2013. № 5(177). P. 67–70. (In Russian). Digital source <https://ozvap.nextgis.com/>.

Chen J., Ban Y., Li S. China: Open access to Earth land-cover map // *Nature*. 2014. V. 514(7523). P. 434. <https://doi.org/10.1038/514434c>

Ekologicheskij enciklopedicheskij slovar' [Ecological Encyclopedia]. Kishinev: Glavnaya redakciya Moldavskoj sovetsoj enciklopedii. I.I. Dedyu: 1989. 406 p. (In Russian).

Hlebnikova T. A., Opritova O. A. Eksperimental'nye issledovaniya sovremennykh programmnykh produktov dlya modelirovaniya geoprostranstva [Experimental studies of modern software products for geospace modeling] // *Vestnik SGUGiT*. V. 22. № 1. 2017. P. 119–132. (In Russian).

Karra K., Kontgis C., Statman-Weil Z., Mazzariello J.C., Mathis M., Brumby S.P. Global land use/land cover with Sentinel-2 and deep learning // 2021 IEEE Intern. Geoscience and Remote Sensing Symp. (IGARSS). 2021. P. 4704–4707.

<https://doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.9553499>

Krivoshej V.A. Reka Volga (problemy i resheniya) [The Volga River: Problems and Solutions] // Moscow: Zhurnal "RT". 92 p. (In Russian).

Kulik K.N., Manaenkov A.S., Esmagulova B.Zh. Lesnaya melioratsiya pastbishch zasushlivoj zony RF i puti povysheniya ee effektivnosti [Forest reclamation of pastures in the arid zone of the Russian Federation and ways to improve its efficiency] // *Izvestiya Nizhnevolszhskogo agrouniversi-*

tetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2021. № 3(63). P. 30–40. (In Russian).

Kuzmina Zh.V., Treshkin S.E., Shinkarenko S.S. Effects of River Control and Climate Changes on the Dynamics of the Terrestrial Ecosystems of the Lower Volga Region, Arid Ecosystems. 2018. V. 8. № 4. P. 231–244.

<https://doi.org/10.1134/S2079096118040066>

Lazareva V.G., Bananova V.A., Nguen V. Kartirovanie rastitel'nosti Sarpinskoj nizmennosti v predelakh Respubliki Kalmykiya metodami distancionnogo zondirovaniya i GIS [Vegetation Mapping of the Sarpinskaya Lowland within the Republic of Kalmykia by Remote Sensing and GIS Methods] // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2017. № 12. P. 178–183. (In Russian).

Loboiko V.F., Ovcharova A.Yu., Nikitina N.S. Osobennosti vodnogo rezhima Nizhnej Volgi i ego vliyanie na sostoyanie severo-zapadnoj chasti Volgo-Ahtubinskoj pojmy [Features of the water regime of the Lower Volga and its impact on the condition of the north-western part of the Volga-Akhtuba floodplain] // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee obrazovanie, 2018. № 4(52). P. 89–96. (In Russian).

Loupian E., Burtsev M., Proshin A., Kashnitskii A., Balashov I., Bartalev S., Konstantinova A., Kobets D., Radchenko M., Tolpin V., Uvarov I. Usage Experience and Capabilities of the VEGA-Science System, Remote Sensing. 2022. V. 14. № 1. P. 77.

<https://doi.org/10.3390/rs14010077>

Loupian E.A., Proshin A.A., Burtsev M.A., Balashov I.V., Bartalev S.A., Efremov V.Yu., Kashnitskiy A.V., Mazurov A.A., Matveev A.M., Sudneva O.A., Sychugov I.G., Tolpin V.A., Uvarov I.A. Centr kollektivnogo pol'zovaniya sistemami arhivacii, obrabotki i analiza sputnikovyh dannyh IKI RAN dlya resheniya zadach izucheniya i monitoringa okruzhayushchej sredy [IKI center for collective use of satellite data archiving, processing and analysis systems aimed at solving the problems of environmental study and monitoring] // Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2015. V. 12. № 5. P. 263–284. (In Russian).

Onaev M.K., Tuktarov R.B., Tarbaev V.A., Gafurov V.A. Ispol'zovanie sputnikovyh metodov issledovanij v izuchenii

rezhima zatopeniya i sovremennogo sostoyaniya rastitel'nogo pokrova limanov [The use of satellite research methods in the study of the flooding regime and the current state of the vegetation cover of estuaries] // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2018. № 7. P. 183–188. (In Russian).

Pavlova V. Obvodnenie Volgo-Ahtubinskoj pojmy – vazhnejshij proekt po ozdorovleniyu Volgi [Watering of the Volga-Akhtuba floodplain is the most important project for the improvement of the Volga] // Gidrotekhnika. 2020. № 2(59). P. 36–37. (In Russian).

Shinkarenko S.S., Bartalev S.A. 2020a. Posledstviya pyl'nyh bur' 2020 goda na yuge evropejskoj chasti Rossii [Consequences of dust storms in 2020 in the south of the European part of Russia] // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2020. V. 17. № 7. P. 270–275. (In Russian).

Shinkarenko S.S., Bartalev S.A. Ocenka ploshchadi opustynivaniya na yuge evropejskoj chasti Rossii v 2021 g [Assessment of desertification area in the south of the European part of Russia in 2021] // Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2021. V. 18. № 4. P. 291–297. (In Russian).

Shinkarenko S.S., Bartalev S.A., 2020b, Sezonnaya dinamika NDVI pastbishchnyh landshaftov Severnogo Prikaspiya po dannym MODIS [NDVI seasonal dynamics of the North Caspian pasture landscapes according to MODIS data] // Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2020. V. 17. № 4. P. 179–194. (In Russian).

Shinkarenko S.S., Bartalev S.A., Berdengalieva A.N., Ivanov N.M. Prostranstvenno-vremennoj analiz gorimosti pojmennyh landshaftov Nizhnej Volgi [Spatio-temporal analysis of burnt area in The Lower Volga floodplain] // Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2022. V. 19. № 1. P. 173–157. (In Russian).

Solodovnikov D.A., Shinkarenko S.S. Present-Day Hydrological and Hydrogeological Regularities in the Formation of River Floodplains in the Middle Don Basin, Water Resources, 2020. V. 47. № 6. P. 719–728.

<https://doi.org/10.1134/S0097807820060135>