

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

ХОРОДИНАМИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ОТКРЫТЫХ ПЕСКОВ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

© 2024 г. В. В. Дорошенко¹. *

¹Федеральное государственное бюджетное научное учреждение “Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук”, Волгоград, Россия

*E-mail: doroshenko-vv@vifanc.ru

Поступила в редакцию 19.01.2024 г.

Динамично протекающие на северо-востоке Ставропольского края процессы опустынивания тесно взаимосвязаны с климатическими условиями, что обуславливает необходимость оперативного картографирования качественных смен состояния открытых песков в соответствии с различными сценариями. Картографирование проводилось на основе методики хородинического (диахронического) картографирования за два периода (июль-август 2022 г. и июнь-июль 2023 г.), для выбора временных срезов использованы данные о ежемесячной динамике площадей открытых песков, количестве осадков и пыльных бурях. Картографирование проводилось визуальным способом на основе мультиспектральных спутниковых снимков “Landsat” за каждый месяц. В 2022 году было зарегистрировано 14 пыльных бурь, в 2023 году не зарегистрировано ни одной, а дни с критической скоростью ветра сопровождались обильными осадками, в связи с чем выявлено значительное снижение видимых площадей открытых песков в результате зарастания. На основе имеющихся данных с применением оверлейных операций составлены схемы качественных переходов на тестовом участке (часть Левокумского района), соответствующие качественным переходам при “сухом” и “влажном” сценарии. Несмотря на прогрессирующее зарастание песков, стимулируемое отсутствием пыльных бурь и обильными осадками в 2023 году, начиная с участков с наименьшей мощностью наносов, восстановление изначальных растительных сообществ без проведения фитомелиоративных мероприятий крайне маловероятно в связи с высокой антропогенной нагрузкой и семенным опустыниванием, в результате которого на открытых песках произрастают малоценные в кормовом отношении однолетники (солянка сорная, кумарчик, паслен рогатый и др.).

Ключевые слова: Ставропольский край, геоинформационный анализ, данные дистанционного зондирования, опустынивание, хородиническое картографирование

DOI: 10.31857/S0205961424030072, EDN: FAJTEY

ВВЕДЕНИЕ

Северо-восток Ставропольского края с начала XXI века подвержен значительному росту опустыненных территорий, усугубившемуся после 2017 года в связи с изменением климатических условий – учащением и интенсификацией пыльных бурь на всей Прикаспийской низменности (Антонов, 2018, Мелихова, 2023; Юферев и др., 2022; Gontovaya, 2021). Похожие ситуации регулярно наблюдаются также на восточном побережье Каспийского моря – в Атырауской области Казахстана (Ершибулов, 2016). Выявление зависимости между площадями открытых песков и климатическими условиями является основой прогнозирования их динамики, расчет которой необходим для планирования лесомелиоративных мероприятий, направленных на закрепление подвижных песков и формирование пастбищных угодий на песках для

их возвращения в сельскохозяйственный оборот (Лапенко, Хонина, 2022; Саидов и др., 2021). Особенностью протекающих на территории Левокумского и Нефтекумского районов (северо-восток Ставрополья) процессов опустынивания является то, что, несмотря на большое количество исследований, посвященных опустыниванию и изучению динамики площадей открытых песков в пределах Терско-Кумской низменности, как правило, они ограничены административными границами Республики Калмыкия и Дагестан (Кулик и др., 2020). При этом динамика видимой площади открытых песков на этой территории значительна – как в течение года, так и в многолетней ретроспективе (Дорошенко, 2022б).

Восток Ставропольского края является частью древнего скотоводческого региона Кизлярские пастбища, в настоящее время свободные от пашни

территории активно используются для овцеводства. При росте площадей открытых песков и закономерном сокращении площадей доступных пастбищ произошло снижение поголовья, которое, впрочем, не может компенсировать возросшую концентрацию животных на сохранившихся кормовых участках (Шинкаренко и др., 2023). Сложившаяся сельскохозяйственная специализация в восточных районах Ставрополя (пастбищные угодья в более засушливой восточной части и высокая степень распашки западнее) не позволяет расширять пастбища для сокращения поголовья на пострадавших от опустынивания участках (Дорошенко, 2023б). Подвергающиеся чрезмерной пастбищной нагрузке территории страдают от сокращения проективного покрытия растительности, которое приводит к росту риска дефляции, а также от т.н. семенного опустынивания – снижения доли ценных кормовых растений в сообществе и их соответствующего недостаточного обсеменения, в результате чего целинные степные и сухостепные сбалансированные фитоценозы заменяются вторичными, составляемыми, в основном, пастбищными сорняками (Лапенко, Хонина, 2022; Кулик, 2004).

Цель исследования заключалась в хородиническом картографировании качественных смен состояний открытых песков на территории северо-восточной части Левокумского района Ставропольского края с учетом двух климатических сценариев (2022–2023 гг.).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основу хородинического картографирования, т.е. картографирования изменений сложных экосистем с использованием материалов съемки за два различных периода, разрабатывали ученые в разных странах (Forman, 1986; Виноградов 1998; Аавиксоо, 1989). При этом выделяются методики отображения количественных и качественных переходов. Нами использована методика отображения качественных переходов или смены состояний Б.В. Виноградова с матричной легендой, отражающей направление перехода. Смена состояний оценивалась как разница между состоянием открытых песков в два соседних месяца и определялась путем проведения оверлейных операций над векторными слоями, содержащими данные о пространственном положении песков. В результате определялись такие переходы: “Пески – Пески”, “Пески - Не пески”, “Не пески – Пески”, “Не пески - Не пески”. Дополнительно картографирование вероятности перехода осложняется значительным влиянием климатических факторов, рассмотренных в работах (Дорошенко, 2022б; Дорошенко, 2023а) – при наличии за рассматриваемый период пыльных бурь

и в их отсутствие “поведение” песчаных массивов строго определенное. В связи с этим, хородиническое картографирование для двух временных срезов (диахроническое картографирование) было проведено для периодов июль-август 2022 г. (состояние открытых песков на 30 июля и 26 августа; “сухой” климатический сценарий) и июнь-июль 2023 г. (состояние открытых песков на 23 июня и 30 июля; “влажный” климатический сценарий), когда были выявлены наибольшие изменения конфигурации массивов открытых песков. “Сухому” сценарию соответствуют высокая ветровая нагрузка (в охваченный период зарегистрирована серия пыльных бурь общей продолжительностью 17 дней) и минимальным количеством осадков (1 мм). “Влажный” сценарий характеризуется минимальной ветровой нагрузкой и значительным увлажнением (35 мм).

Для картографирования открытых песков были использованы мультиспектральные спутниковые снимки “Landsat”, имеющие достаточное пространственное (30 м) и временное разрешение для картографирования динамики такого изменчивого процесса, как открытые пески. Даты съемки для подходящих сцен подбирались максимально близкие к концу каждого рассматриваемого месяца, чтобы оценка площадей открытых песков была максимально объективной. Дешифрирование массивов открытых песков (лишенных растительности) проводилось визуальным (экспертным) способом с использованием комбинации каналов “естественные цвета” (красный-зеленый-синий спектральные каналы), которая обеспечивает достаточную контрастность для дифференциации песков и элементов окружающего ландшафта (Дорошенко, 2022б; Мелихова, 2023). К категории объектов “пески” отнесены также скальпированные участки и деструктивные эколого-морфологические области очагов опустынивания, т.е. все обособленные участки, лишённые растительного покрова (Биарсланов и др., 2023). При повторном дешифрировании учитывалось зарастание песков преимущественно однолетними псаммофитами, как правило, начинающееся с окраин массивов. Поскольку на северо-востоке Ставропольского края широко распространены соровые понижения и солончаки, при дешифрировании также использовались предварительно полученные данные о пространственном положении соровых понижений (Дорошенко, 2022а; Пищулов, 2013) для корректного отделения открытых песков от засоленных участков, которые, в силу схожих спектральных характеристик, могут ошибочно дешифрироваться как пески на спутниковых снимках среднего разрешения (рис. 1). Ключевыми дешифровочными признаками, обеспечивающими дифференциацию открытых песков и засоленных участков, являются цвет и текстура изображения. Цвет соровых понижений может значительно ва-

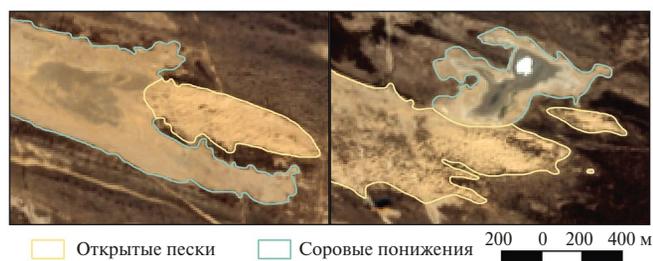


Рис. 1. Открытые пески и соровые понижения на фрагментах спутникового снимка (от 21.10.2023 г.).

рывать в течение года в зависимости от освещения, увлажненности поверхности и др. факторов, но при этом сохраняется светлый, вплоть до белого, тон и холодный оттенок (серый или голубоватый), а также гладкая блестящая текстура солевой корки, тогда как открытые пески имеют теплый цвет от белого до желтого и матовой или зернистой текстурой. Также на спутниковых снимках может просматриваться достаточно четкое деление очага опустынивания на эколого-морфологические области и участки зарастания пионерными псаммофитами в межбугровых понижениях, что может быть использовано в качестве косвенных дешифровочных признаков.

Данные о количестве осадков и пыльных бурях были получены с помощью сервиса “Погода и климат” (<http://www.pogodaiklimat.ru/>) как дни с отметкой о пыльных бурях для метеостанций в г. Арзгир, г. Буденновск и г. Зеленокумск, находящихся западнее территории исследования, а также метеостанции в г. Южно-Сухокумск, находящейся восточнее (Ногайский район Республики Дагестан). Т.к. во время пыльных бурь преобладают восточные ветра (Дорошенко, 2023в) западное расположение метеостанций наиболее выгодно для оценки их динамики.

Обработка растровых материалов спутниковой съемки и их дешифрирование, а также формирование картографических материалов проводились в программной среде ГИС “QGIS 3”, статистическая обработка полученных данных проводилась в среде “MS Excel”.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ климатических данных показал, что в 2022 г. зарегистрировано 14 пыльных бурь общей продолжительностью 29 дней; скорость ветра варьировала от 5 до 29 м/с, преобладающим направлением ветра было восточное (Дорошенко, 2023в). Особенностью воздействия пыльных бурь на массивы открытых песков является то, что при последовательных пыльных бурях принесенный ветром

ранее материал может подвергаться повторному выдуванию, что приводит к дальнейшему нарастанию площади открытых песков. Похожая ситуация могла наблюдаться в исследуемый период конца июля - конца августа 2022 г., когда были зарегистрированы три пыльные бури с минимальными по продолжительности перерывами: с 10.08 по 15.08 (6 дней), 18.08 и с 20.08 по 28.08 (9 дней) со средней скоростью ветра 13.2 м/с при выпадении 1 мм осадков. Такие серии бурь наиболее опасны с точки зрения дефляции, но при этом достаточно редки. В 2023 г. климатические условия резко отличались — так, на выбранных метеостанциях не было зафиксировано ни одной пыльной бури, только 6 эпизодов фиксации пыльного поземка в весенний и летний период на метеостанции в г. Буденновск. Для оценки возможности возникновения пыльной бури используется критическая скорость ветра (7 м/с как среднее для песков и легких почв (Дорошенко 2023а; Кулик, 2004)), но в 2023 г. почти три четверти (72%) всех дней, когда скорость ветра достигала критической отметки, были дождливыми либо критическая скорость ветра отмечалась после выпадения осадков (в течение нескольких часов или на следующий день), что исключает возможность эолового переноса частиц песка или почвы. Годовое количество осадков в 2023 г. почти на 100 мм превышало сумму осадков 2022 г. (315 и 233 мм соответственно), что также не могло не сказаться на динамике площадей открытых песков. Так, для исследуемого периода конец мая — конец июня 2023 г. скорости ветров достигали 12–18 м/с, но только во время дождей, в том числе, ливневых — всего за период 24.05–23.06 выпало 100 мм осадков. Вместе с минеральными частицами во время сильных ветров также переносятся семена растений, что способствует быстрому и интенсивному зарастанию песчаных массивов различными пионерными псаммофитами при возникновении подходящих условий — снижении ветровой нагрузки и достаточном увлажнении.

По результатам дешифрирования составлены тематические векторные слои, содержащие данные о пространственном положении массивов открытых песков на территории Левокумского района. По общим суммам этих площадей за каждый рассматриваемый месяц (табл. 1) заметна тенденция к значительному сокращению видимых площадей открытых песков в 2023 году в условиях отсутствия пыльных бурь и высокой влажности грунта при критических скоростях ветров. В 2022 году выявлена сильная положительная связь ($r = 0.83$) между количеством дней с зарегистрированными пыльными бурями и приростом площадей открытых песков (Дорошенко, 2023а).

На основе имеющихся данных о динамике песчаных массивов на тестовом участке, включающем в себя наиболее динамичную в отношении площа-

Таблица 1. Количественные показатели дешифрирования ежемесячного состояния открытых песков в 2022–2023 гг.

Площадь песков, тыс. га	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
2022	29.5	21.4	18.2	15.4	20.4	45.0	41.6	45.4
2023	30.4	25.9	23.9	19.9	6.3	5.6	5.6	5.6

дей открытых песков часть Левокумского района (рис. 2) на северо-востоке Ставропольского края, составлены диахронические схемы смен состояния открытых песков по “сухому” (рис. 3) и “влажному” сценариям (рис. 4).

В июле-августе 2022 г. под воздействием пыльных бурь площадь открытых песков увеличилась в 1.9 раза, т.е. переходу “Не пески – Пески” было подвержено 19.6 тыс. га, а переход “самих в себя” (“Пески – Пески”), т.е. сохранение класса выявлено на площади 17.1 тыс. га (рис. 5). Высокая ветровая нагрузка значительно ухудшает условия ве-

гетации растительности и препятствует зарастанию песков (Биарсланов и др., 2023). При этом выявлен также переход “Пески - Не пески” на площади 1.9 тыс. га, связанный с очисткой соровых понижений от нанесенного ранее слоя песка, а также с зарастанием деструктивных областей очагов опустынивания. Площади, не занятые песками, занимали около 55% общей площади тестового участка.

В июне-июле 2023 г. ситуация обратная – прирост площади песков (переход “Не пески – Пески”) зафиксирован на площади 13 га, неизменные площади песков составляют 5.7 тыс. га, тогда как

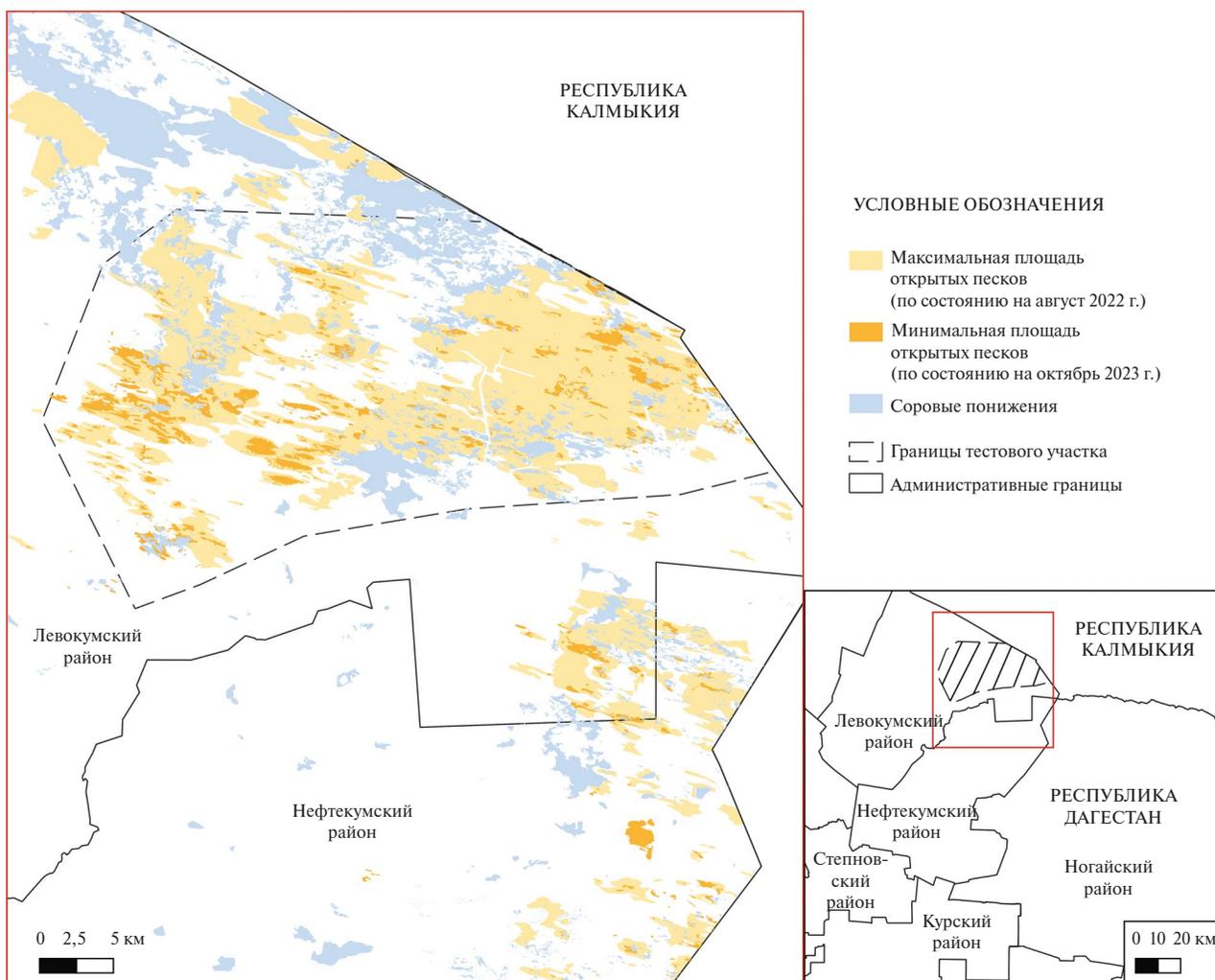


Рис. 2. Схема пространственного положения тестового участка.

зарастающие пески занимают почти 13 тыс. га. Всего не занятые песками участки составляют более 75% тестового участка.

Полученные результаты демонстрируют закономерную динамику открытых песков – увеличение

их площади при низком количестве осадков и высокой ветровой нагрузке и резкое сокращение при увеличении количества осадков (Биарсланов и др., 2023; Дорошенко, 2023а; Юферев и др., 2022). Использование двух временных срезов в комплексе

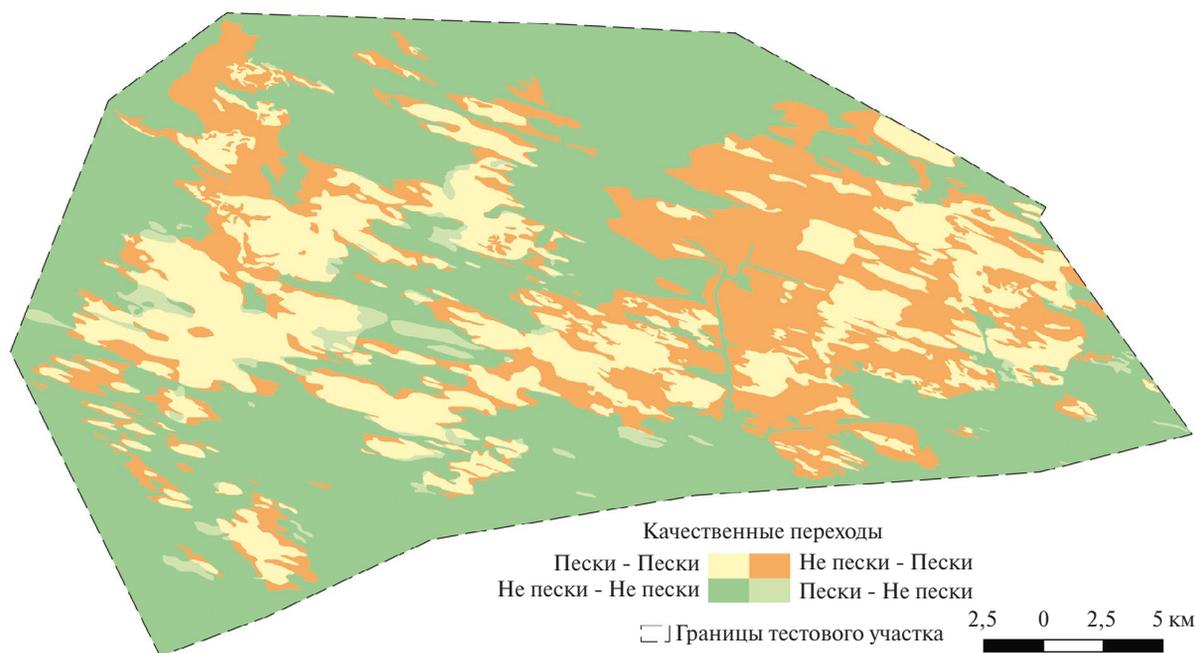


Рис. 3. Схема качественных переходов состояния открытых песков в июле-августе 2022 г. (“сухой” климатический сценарий).

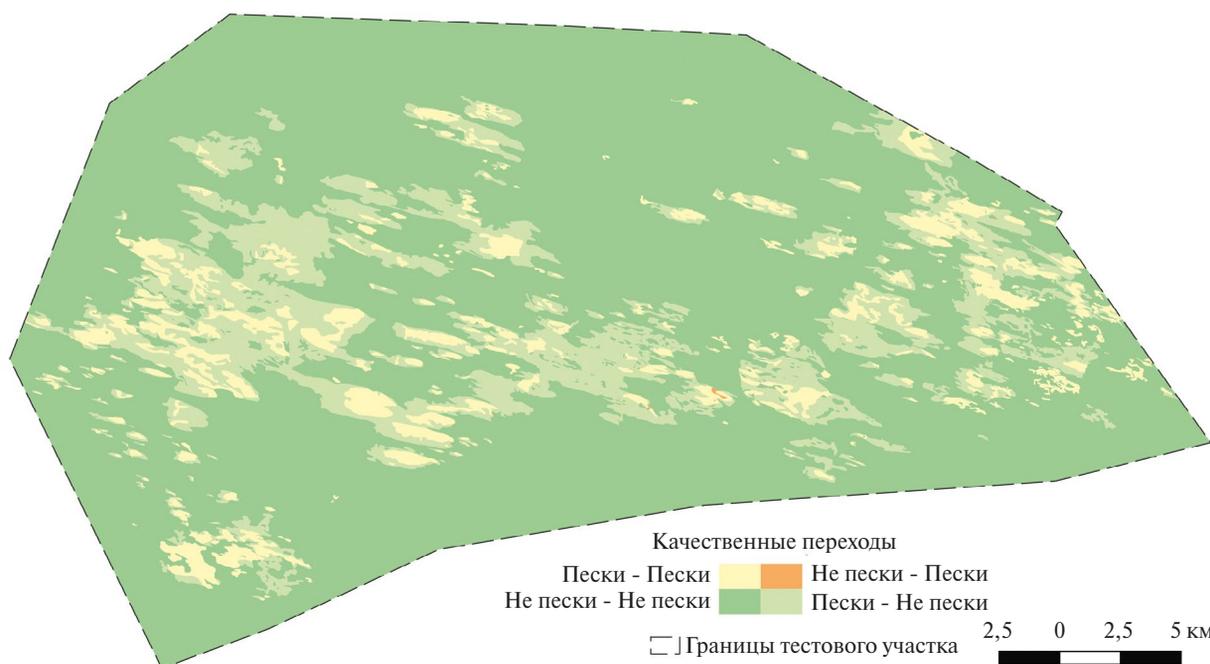


Рис. 4. Схема качественных переходов состояния открытых песков в июне-июле 2023 г. (“влажный” климатический сценарий).

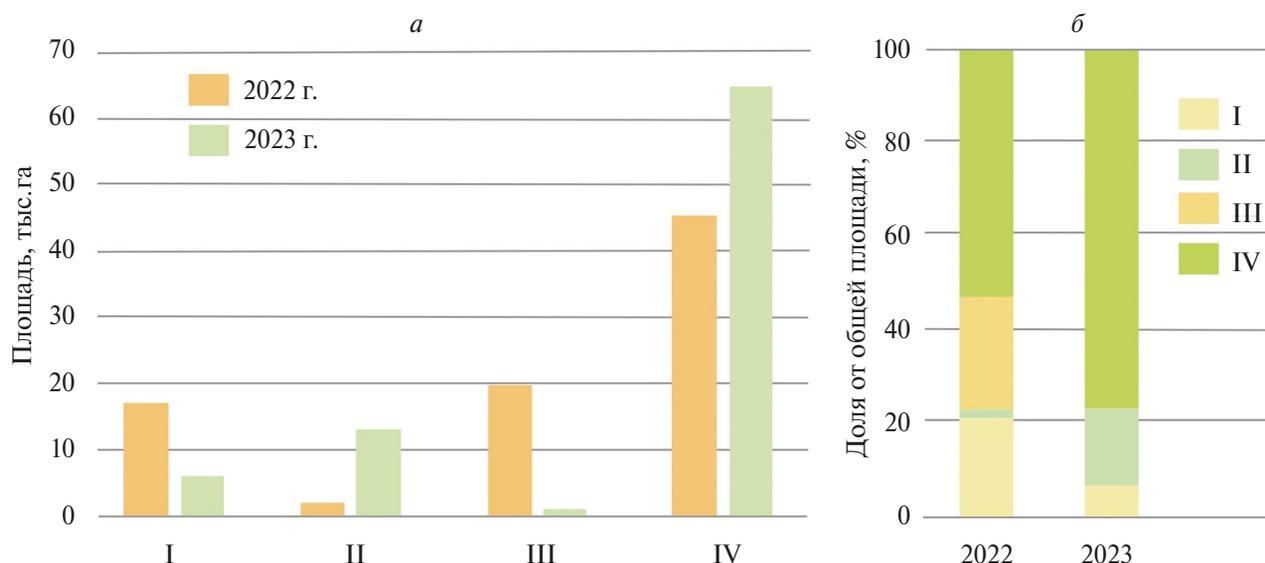


Рис. 5. График площадей категорий (а) и их долей в общей площади тестового участка (б) (категории: I – “Пески – Пески”, II – “Пески – Не пески”, III – “Не пески – Пески”, IV – “Не пески – Не пески”).

с метеорологическими данными позволяет выявить основные факторы, тогда как расширение временного ряда потенциально может позволить выявить песчаные массивы, площадь которых превышает возможности самозарастания.

При этом необходимо отметить, что полноценное зарастание образовавшихся на территории Левокумского района песчаных массивов естественным путем с формированием сбалансированных растительных сообществ, сходных с исконными для сухой степи, представляется маловероятным в связи с большой мощностью песчаных наносов; дополнительным осложняющим фактором является крайне высокая степень минерализации грунтовых вод и сохраняющаяся пастбищная нагрузка (Шаповалов и др., 2020). Также влияние на этот процесс оказывает развивающееся семенное опустынивание – доля многолетников в растительных сообществах значительно сократилась, в настоящее время пионерными растениями на песках являются солянка сорная (*Salsola tragus* L.), кумарчик (*Agriophyllum squarrosum* L.), паслен рогатый (*Solanum rostratum* Dunal), т.е. однолетние растения, в т.ч. способные образовывать форму “перекати-поле” (Лапенко и др., 2020).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работ по хородиническому картографированию открытых песков на тестовом участке на северо-востоке Ставропольского края (Левокумский район) получена векторная маска пространственно-временного распределения открытых песков и зарастающих участков, а также составлены

схемы смен качественных состояний песчаных массивов в зависимости от климатических сценариев (на основе временных срезов 2022 и 2023 года).

Методика диахронического картографирования с использованием оверлейных операций показывает хорошие результаты при наличии корректных данных о пространственном размещении открытых песков, получение которых обеспечивается применением методики визуального дешифрирования материалов ДЗЗ. Полученные данные и опыт диахронического картографирования для составления прогнозов могут быть использованы при планировании лесомелиоративных мероприятий, направленных на борьбу с последствиями пыльных бурь и закрепление подвижных песков для восстановления утраченных пастбищных угодий, например, путем создания лесопастбищ или с применением метода агростепи, поскольку позволяют анализировать переходы состояний открытых песков и влияющие на этот непрерывный процесс факторы. Используемая методика свободно может применяться в других аридных регионах с условием тщательной обработки климатических данных для выявления режима пыльных бурь и определения преобладающего направления ветров.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках государственного задания ФНЦ агроэкологии РАН НИР FNFE-2024-0009 “Опустынивание территорий аридных, субаридных и сухих субгумидных регионов, картографирование современного состояния и динамики опустынивания земель,

моделирование и прогнозирование процессов опустынивания, для планирования восстановления деградированных земель с применением геоинформационных технологий и аэрокосмических методов в условиях усиливающихся засух, песчаных и пыльных бурь”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аавиксоо К.Д., Кадарик Х.Р.* Динамика болотных ландшафтов и достоверность прогноза их развития // Экология. 1989. № 4. С. 33–38.
- Антонов С.А.* Изменение агроклиматического районирования территории Ставропольского края для повышения продуктивности агроландшафтов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 3(71). С. 8–11. DOI: 10.25930/0erb-cm88. EDN XRTQZV.
- Биарсланов А.Б., Шинкаренко С.С., Гаджиев И.Р.* Картографирование и анализ сезонной динамики площадей опустынивания на севере Дагестана по ежемесячным композитам Sentinel-2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 1. С. 160–175. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-160-175. EDN SDCLDS.
- Виноградов Б.В.* Основы ландшафтной экологии / М.: ГЕОС, 1998. 418 с. ISBN 5-89118-056-1.
- Дорошенко В.В.* Геоинформационное картографирование сорных понижений и солончаков в Ставропольском крае // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022а. № 4(68). С. 553–561. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-04-64.
- Дорошенко В.В.* Геоинформационный анализ развития процессов опустынивания в Ставропольском крае // Научно-агрономический журнал. 2022б. № 3(118). С. 31–36. DOI: 10.34736/FNC.2022.118.3.004.31-36.
- Дорошенко В.В.* Динамика площади открытых песков на северо-востоке Ставропольского края в 2022 г. // Географический вестник. 2023а. № 4(67). С. 127–136. DOI: 10.17072/2079-7877-2023-4-127-136.
- Дорошенко В.В.* Зависимость вегетации озимых культур от рельефа и почв на востоке Ставропольского края // Исследование Земли из космоса. 2023б. № 5. С. 71–84. DOI: 10.31857/S0205961423050044.
- Дорошенко В.В.* Пыльные бури на востоке Ставропольского края в 2017–2022 гг. // Вопросы степеведения. 2023в. № 3. С. 41–48. DOI: 10.24412/2712-8628-2023-3-41-48. — EDN JVUYFD.
- Ершибулов А.К.* Пыльные бури в Прикаспийском регионе Республики Казахстан // Научный Альманах ассоциации France-Kazakhstan. 2016. № 3. С. 125–135.
- Кулик К.Н.* Агролесомелиоративное картографирование и фитоэкологическая оценка аридных ландшафтов / Волгоград: изд. ВНИАЛМИ, 2004. 248 с.
- Кулик К.Н., Петров В.И., Юферев В.Г., Ткаченко Н.А., Шинкаренко С.С.* Геоинформационный анализ опустынивания северо-западного Прикаспия // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 2(83). С. 16–24. EDN TJYXNB.
- Лапенко Н.Г., Ерошенко Ф.В., Сторчак И.Г.* Растительность степных фитоценозов и особенности ее вегетации в условиях Ставропольского края // Аграрный вестник Урала. 2020. № 2(193). С. 9–19. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-193-2-9-19.
- Лапенко Н.Г., Хонина О.В.* Оценка пастбищной дигрессии степных экосистем аридной зоны Ставрополя // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 5. С. 16–20. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_5_16.
- Мелихова А.В.* Картографирование процессов опустынивания в Астраханском Заволжье с применением ГИС-технологий // Научно-агрономический журнал. 2023. № 3(122). С. 40–45. DOI: 10.34736/FNC.2023.122.3.006.40-45.
- Пищулов С.А.* Комплексная характеристика сорных понижений Северо-Западного Прикаспия (на примере Астраханской области) // Астраханский вестник экологического образования. 2013. № 2(24). С. 123–126.
- Саидов М.С., Саидов С.М., Гайратов М.Т., Давлатов Ф.С.* Песчаные и пыльные бури: практические рекомендации по уменьшению влияния факторов, способствующих формированию песчаных и пыльных бурь // Наука и инновация. 2021. № 1. С. 5–17.
- Шапалов Д.А., Ключин П.В., Савинова С.В.* Экологические проблемы сельскохозяйственного землепользования в Ставропольском крае // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 2(83). С. 57–62. EDN HQLAFJ.
- Шинкаренко С.С., Выприцкий А.А., Васильченко А.А., Берденгалиева А.Н.* Анализ влияния антропогенных нагрузок на процессы опустынивания в северном прикаспии по спутниковым данным // Исследование Земли из космоса. 2023. № 3. С. 44–57. DOI: 10.31857/S0205961423030065.
- Юферев В.Г., Беляев А.И., Синельникова К.П.* Опустынивание земель сельскохозяйственного назначения в Черноземельском районе Калмыкии // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 4(68). С. 465–473. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-04-55.
- Forman R.T.T., Godron M.* Landscape ecology / N. Y.: Willey, 1986.
- Gontovaya I.V., Tatarnikov V.O., Ocheretnyi M.A.* Analysis of conditions for dust storm occurrence in the Astrakhan oblast in 2021 // Russian Meteorology and Hydrology. 2023. Vol. 48. No. 3. P. 280–286.

Horodynamic Mapping of Open Sands in the East of the Stavropol Region

V. V. Doroshenko¹

¹*Federal State Budget Scientific Institution “Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences” (FSC of Agroecology of the RAS), Volgograd, Russia*

The desertification processes that are dynamically occurring in the north-east of the Stavropol Territory are closely interrelated with climatic conditions, which necessitates the rapid mapping of qualitative changes in the state of open sands in accordance with various scenarios. The mapping was carried out on the basis of the technique of chorodynamic (diachronic) mapping for two periods (July-August 2022 and June-July 2023), data on the monthly dynamics of open sand areas, precipitation and dust storms were used to select time slices. The mapping was carried out visually on the basis of multispectral satellite images of Landsat for each month. In 2022, 14 dust storms were registered, in 2023 none were registered, and days with critical wind speeds were accompanied by heavy precipitation, in connection with which a significant decrease in the visible areas of open sands was revealed as a result of overgrowth. Based on the available data, using overlay operations, schemes of qualitative transitions in the test area (part of the Levokumsky district) corresponding to qualitative transitions in the “dry” and “wet” scenarios were compiled. Despite the progressive overgrowth of the sands, stimulated by the absence of dust storms and abundant precipitation in 2023, starting from areas with the lowest sediment capacity, the restoration of the original plant communities without carrying out phytomeliorative measures is extremely unlikely due to high anthropogenic load and seed desertification, as a result of which low-value annual crops grow on open sands (weed solyanka, kumarchik, nightshade horned, etc.).

Keywords: Stavropol Region, geoinformation analysis, remote sensing data, desertification, horodynamic mapping

REFERENCES

- Aaviksoo K.D., Kadarik X.R.* Dinamika bolotny'h landshaftov i dostovernost' prognoza ix razvitiya [The dynamics of swamp landscapes and the reliability of the forecast of their development] // *E`kologiya*. 1989. № 4. P. 33–38. (In Russian).
- Antonov S.A.* Izmenenie agroklimaticheskogo rajonirovaniya territorii Stavropol'skogo kraja dlya povysheniya produktivnosti agrolandshaftov [Changing the agro-climatic zoning of the Stavropol Territory to increase the productivity of agricultural landscapes] // *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018. № 3(71). P. 8–11. DOI: 10.25930/0erb-cm88. – EDN XRTQZV. (In Russian).
- Biarlanov A.B., Shinkarenko S.S., Gadzhiev I.R.* Kartografirovaniye i analiz sezonnoj dinamiki ploshhadej opusty`nivaniya na severe Dagestana po ezhemesyachny'm kompozitam Sentinel-2 [Mapping and analysis of seasonal dynamics of desertification areas in the north of Dagestan by monthly Sentinel-2 composites] // *Sovremennyye problemy` distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2023. T. 20. № 1. P. 160–175. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-160-175. EDN SDCLDS.
- Vinogradov B.V.* Osnovy` landshaftnoj e`kologii [Fundamentals of landscape ecology] / M.: GEOS, 1998. 418 s. ISBN 5-89118-056-1. (In Russian).
- Doroshenko V.V.* Geoinformacionnoe kartografirovaniye sorovy`x ponizhenij i solonchakov v Stavropol'skom krae [Geoinformation mapping of sor depressions and salt marshes in the Stavropol Region] // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vy`sshee professional'noe obrazovanie*. 2022a. № 4(68). P. 553–561. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-04-64. (In Russian).
- Doroshenko V.V.* Geoinformacionny`j analiz razvitiya processov opusty`nivaniya v Stavropol'skom krae [Geoinformation analysis of the development of desertification processes in the Stavropol Region] // *Nauchno-agronomicheskij zhurnal*. 2022b. № 3(118). P. 31–36. DOI: 10.34736/FNC.2022.118.3.004.31-36. (In Russian).
- Doroshenko V.V.* Dinamika ploshhadi otkryty`x peskov na severo-vostoke Stavropol'skogo kraja v 2022 g [Dynamics of the area of open sands in the north-east of the Stavropol Region in 2022] // *Geograficheskij vestnik*. 2023a. № 4(67). P. 127–136. DOI: 10.17072/2079-7877-2023-4-127-136. (In Russian).
- Doroshenko V.V.* Zavisimost' vegetacii ozimy`x kul'tur ot rel'efa i pochv na vostoke Stavropol'skogo kraja [Dependence of vegetation of winter crops on relief and soils in the east of the Stavropol Region] // *Issledovanie Zemli iz kosmosa*. 2023b. № 5. P. 71–84. DOI: 10.31857/S0205961423050044. (In Russian).
- Doroshenko V.V.* Py`l'ny'e buri na vostoke Stavropol'skogo kraja v 2017-2022 gg [Dust storms in the east of the Stavropol Region in 2017-2022] // *Voprosy` stepevedeniya*. 2023v. № 3. P. 41–48. DOI: 10.24412/2712-8628-2023-3-41-48. – EDN JVUYFD. (In Russian).
- Ershibulov A.K.* Py`l'ny'e buri v Prikaspijskom regione Respubliki Kazaxstan [Dust storms in the Caspian region of the Republic of Kazakhstan] // *Nauchny`j Al'manax asociacii France-Kazakhstan*. 2016. № 3. P. 125–135. (In Russian).
- Forman R.T.T., Godron M.* Landscape ecology / N. Y.: Willey, 1986.
- Gontovaya I.V., Tatarnikov V.O., Ocheretniy M.A.* Analysis of conditions for dust storm occurrence in the Astrakhan oblast in 2021 // *Russian Meteorology and Hydrology*. 2023. Vol. 48. No. 3. P. 280–286.
- Kulik K.N.* Agrolesomeliorativnoe kartografirovaniye i fitoe`kologicheskaya ocenka aridny`x landshaftov [Agroforestry mapping and phytocological assessment of arid landscapes] / Volgograd: izd. VNIALMI, 2004. 248 s. (In Russian).

- Kulik K.N., Petrov V.I., Yuferev V.G., Tkachenko N.A., Shinkarenko S.S.* Geoinformacionny'j analiz opusty'nivaniya severo-zapadnogo Prikaspiya // Aridny'e e'kosistemy' [Geoinformation analysis of desertification in the Northwestern Caspian Sea]. 2020. T. 26. № 2(83). P. 16–24. EDN TJYXNB.
- Lapenko N.G., Eroshenko F.V., Storchak I.G.* Rastitel'nost' stepny'x fito-cenozov i osobennosti ee vegetacii v usloviyax Stavropol'skogo kraja [Vegetation of steppe phytocenoses and features of its vegetation in the Stavropol Territory] // Agrarny'j vestnik Urala. 2020. № 2(193). P. 9–19. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-193-2-9-19. (In Russian).
- Lapenko N.G., Xonina O.V.* Ocenka pastbishhnoj digressii stepny'x e'kosistem aridnoj zony' Stavropol'ya [Assessment of pasture digression of steppe ecosystems of the arid zone of Stavropol] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2022. T. 36. № 5. P. 16–20. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_5_16. (In Russian).
- Melixova A.V.* Kartografirovaniye processov opusty'nivaniya v Astraxanskom Zavolzh'e s primeneniem GIS-tekhnologii [Mapping of desertification processes in the Astrakhan Volga region using GIS technologies] // Nauchno-agronomicheskij zhurnal. 2023. № 3(122). P. 40–45. DOI: 10.34736/FNC.2023.122.3.006.40-45. (In Russian).
- Pishhulov S.A.* Kompleksnaya xarakteristika sorovy'x ponizhenij Severo-Zapadnogo Prikaspiya (na primere Astraxanskoj oblasti) [Complex characterization of the sor depressions of the Northwestern Caspian Sea (on the example of the Astrakhan region)] // Astraxanskij vestnik e'kologicheskogo obrazovaniya. 2013. № 2 (24). S. 123–126. (In Russian).
- Saidov M.S., Saidov S.M., Gajratov M.T., Davlatov F.S.* Peschany'e i py'l'ny'e buri: prakticheskie rekomendacii po umen'sh-eniyu vliyaniya faktorov, sposobstvuyushhih formirovaniyu peschany'h i py'l'ny'h bur' [Sand and dust storms: practical recommendations for reducing the influence of factors contributing to the formation of sand and dust storms] // Nauka i innovaciya. 2021. № 1. P. 5–17. (In Russian).
- Shapovalov D.A., Klyushin P.V., Savinova S.V.* E'kologicheskie problemy' sel'skoxozyajstvennogo zemlepol'zovaniya v Stavropol'skom krae [Ecological problems of agricultural land use in the Stavropol Territory] // Aridny'e e'kosistemy'. 2020. T. 26. № 2(83). P. 57–62. EDN HQLAFJ. (In Russian).
- Shinkarenko S.S., Vy'priczkiy A.A., Vasil'chenko A.A., Berden-galiev A.N.* Analiz vliyaniya antropogenny'x nagruzok na processy' opusty'nivaniya v severnom prikaspii po sputnikovy'm dannym [Analysis of the influence of anthropogenic loads on desertification processes in the northern Caspian Sea using satellite data] // Issledovanie Zemli iz kosmosa. 2023. № 3. P. 44–57. DOI: 10.31857/S0205961423030065. (In Russian).
- Yuferev V.G., Belyaev A.I., Sinel'nikova K.P.* Opusty'nivaniye zemel' sel'skoxozyajstvennogo naznacheniya v Chernozemel'skom rajone Kalmykii [Desertification of agricultural lands in the Chernozemelsky district of Kalmykia] // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vy'sshee professional'noe obrazovanie. 2022. № 4(68). P. 465–473. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-04-55. (In Russian).