Картографирование и анализ сезонной динамики площадей опустынивания на севере Дагестана по ежемесячным композитам Sentinel-2

А.Б. Биарсланов¹, С.С. Шинкаренко², И.Р. Гаджиев¹

¹ Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН Махачкала, 367000, Россия ² Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия E-mail: axa73@mail.ru

Работа посвящена картографированию и анализу сезонной динамики опустынивания (открытых песков и котловин выдувания) Кизлярских пастбищ, расположенных в северной части Республики Дагестан. Использованы ежемесячные композитные изображения спутника Sentinel-2 второго уровня обработки с отфильтрованной облачностью и радиометрической нормализацией за период с 2019 по 2022 г., доступные в системе «Вега-Science» на базе Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг». Данные были проанализированы за вегетационные периоды, кроме марта 2021 г. и ноября 2022 г., когда безоблачные данные на территорию полностью отсутствовали. Таким образом, на каждый год получены данные о площадях открытых песков и котловин выдувания за 8-9 мес. Для идентификации опустынивания использовалась классификация с обучением по одному классу, опорная выборка формировалась на основе экспертного дешифрирования и наземных данных. Установлено, что площадь опустынивания в течение года может существенно изменяться (от двух до десяти раз) в зависимости от пастбищных нагрузок, гидротермических условий и ветрового режима. Большая часть существующих исследований многолетней динамики опустынивания не учитывает этот сезонный аспект изменения площадей открытых песков и котловин выдувания, что может приводить к некорректным выводам. Наличие ежемесячных безоблачных композитов спутниковых данных позволяет отслеживать динамику как минимальных, так и максимальных за вегетационный сезон площадей опустынивания. Полученные результаты могут использоваться для оптимизации пастбищных нагрузок и разработки фитомелиоративных мероприятий в регионе.

Ключевые слова: Дагестан, дистанционное зондирование, опустынивание, пастбища, деградация ландшафтов

Одобрена к печати: 19.01.2023 DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-160-175

Введение

В настоящее время деградация почвенного и растительного покрова аридных регионов Юга России и непосредственно Республики Дагестан приводит к быстрому изменению облика ландшафтов. Причинами таких динамичных процессов послужил планетарный тренд климатического потепления, снижение уровня Каспийского моря и, как следствие, снижение уровня грунтовых вод, уменьшение сумм атмосферных осадков, ненормированные и нерегулируемые антропогенные нагрузки (Стасюк и др., 2004). В последнее десятилетие регион Терско-Кумской низменности представляется объектом повышенного внимания исследователей, в том числе и ввиду усиления антропогенного воздействия (Биткаева, 2000; Залибеков, 2018; Радочинская и др., 2019). Основным фактором антропогенной нагрузки на территорию Северо-Западного Прикаспия сохраняется отгонное животноводство (Сератирова, Бананова, 2016; Шинкаренко, 2019). Последствием неконтролируемого выпаса домашнего скота становится усиление интенсивности и масштабов процессов дефляции, вплоть до пыльных бурь. Во внутриматериковой части аридных регионов Прикаспийской низменности мелкоземистая часть верхних слоёв захватывается воздушными потоками и вихревыми движениями, вовле-

кается в атмосферу с последующим перемещением на большие расстояния (Залибеков, 2000), особенно пыльные бури интенсифицировались в последние годы (Шинкаренко, Барталев, 2022; Шинкаренко и др., 2020). Эоловый материал переноса осаждается вблизи населённых пунктов, животноводческих ферм, в результате чего в центральной части Терско-Кумской низменности (в Ногайском р-не) некоторые населённые пункты оказались под покровом перенесённых песков (Мирзоев и др., 1997).

Как правило, антропогенное воздействие в условиях аридного климата приводит к иссушению почвенного профиля, а органическое вещество подвергается минерализации, вследствие чего почвы теряют биогенную активность и способность поглощать элементы питания. Поэтому обнажение почвообразующих пород в результате водной или ветровой эрозии приводит к прямому или косвенному выносу биогенных элементов и накоплению минеральных, обладающих высокой миграционной способностью (Залибеков, 2000). Мониторинг процессов деградации и своевременное принятие решений о регулировании антропогенных нагрузок, проведение фитомелиоративных мероприятий позволяют существенно снизить интенсивность процессов опустынивания и восстановить растительный покров, что уже было достигнуто на территории Чёрных земель в Калмыкии и отдельных участках Бажиганских и Тереклинских песков (Манаенков и др., 2017; Сурхаев и др., 2019; Kulik et al., 2018).

Традиционные наземные исследования состояния ландшафтов очень трудоёмки, поэтому их периодичность обычно невелика, а ретроспективный анализ при отсутствии наблюдений невозможен. Частота дистанционного мониторинга ограничивается только периодичностью получения необходимых данных спутниковых или воздушных съёмок. Высокая скорость процесса изменения площадей опустынивания требует детального и оперативного его исследования в сезонном аспекте, что наиболее оправдано с использованием дистанционных методов оценки (Виноградов, Кулик, 1996). Большая часть существующих исследований процессов опустынивания по данным высокого пространственного разрешения не учитывает их сезонную динамику, при этом либо основывается на периоде максимума вегетации весной или в начале лета (Шинкаренко, 2019; Шинкаренко и др., 2022а, б), либо не приводит сведений о датах использованных спутниковых изображений (например, работы (Kulik et al., 2013, 2015)).

Цель исследования состоит в установлении сезонных изменений площадей подвижных песков и дефлированных территорий в период интенсификации процессов опустынивания по данным высокого пространственного разрешения. Для достижения цели решались следующие задачи: классификация ежемесячных композитов Sentinel-2 за вегетационные сезоны 2019–2022 гг., определение как внутригодовой, так и межгодовой динамики площадей опустынивания и сопоставление их изменений с метеоусловиями.

Объект, материалы и методы исследования

Район исследований включает Кумские и Бажиганские пески, расположенные в северной части Дагестана. Территория находится в Ногайском и Тарумовском районах, охватывается двумя тайлами Sentinel-2 (*puc. 1*, см. с. 162). Кумские пески — один из самых крупных песчаных массивов Терско-Кумской низменности, протянувшийся вдоль р. Кумы на северовостоке Ставропольского края и севере Дагестана. Бажиганские пески расположены к югу от Кумских, на границе Ставропольского края и Дагестана. Именно эти территории подвержены наиболее интенсивным процессам опустынивания в настоящее время (Дорошенко, 2022; Шинкаренко, Барталев, 2020а, 2021; Шинкаренко и др., 2022а). Расположенные южнее Тереклинские и Терские пески находятся в относительно стабильном состоянии (Национальный..., 2021). Приморская часть Терско-Кумской низменности в данной работе не рассматривается, так как процессы опустынивания там вызваны не столько антропогенной деятельностью, сколько отступлением Каспийского моря, в результате чего на засоленных почвах бывшего морского дна растительность отсутствует достаточно длительное время (Шинкаренко и др., 20226; Zalibekov et al., 2010).



Рис. 1. Расположение района исследований на севере Дагестана. І — границы регионов; II — границы муниципальных районов; III — тайлы Sentinel-2; IV — район исследований; V — расположение модельных площадок; VI — типы земного покрова ESA WorldCover: 1 — леса, 2 — кустарники, 3 — пастбища и сенокосы, 4 — пашни, 5 — застройка, 6 — открытые почвы и грунты, 7 — водоёмы, 8 — водно-болотные угодья

Климатические условия территории характеризуются выраженной континентальностью: летний максимум достигает температуры +40...+45 °C, нижний минимум снижается до -20...-25 °C. Средняя годовая температура составляет +10...+13 °C. Статистикой данных среднегодовых показателей температуры и количества атмосферных осадков за последние 15 лет выявлена динамика повышения значений температуры и снижения количества осадков. За последние пять лет среднегодовая температура повысилась с +12,6 до +13,6 °C, в 2021 и 2022 гг. она составила +13,2 и +12,9 °C соответственно. Годовая сумма осадков составляет 200–300 мм. Вместе с тем среднегодовое количество осадков, по данным Кочубейской метеостанции Республики Дагестан, за 2016–2020 гг. заметно снизилось: с 377 до 147 мм. За 2021– 2022 гг. годовая сумма осадков составила 217 и 171 мм (Биарсланов и др., 2021).

Среди глобальных индикаторов опустынивания выделяют изменение землепользования, снижение продуктивности растительности и утрату почвенного органического углерода (Андреева, Куст, 2020), что не всегда может использоваться на региональном и локальном уровне из-за специфики ландшафтов (Лобковский и др., 2022). По этим причинам в настоящей работе под опустыниванием подразумевается полное лишение растительного покрова в результате пастбищного сбоя или последствий ветровой эрозии (увеличение площади котловин выдувания и подвижных песков) (Куст и др., 2002).

Картографирование открытых песков и котловин выдувания осуществлялось на основе классификации с обучением по одному классу ежемесячных композитов Sentinel-2 в системе «Вега-Science» (Лупян и др., 2015). Опорные данные для классификации определялись экспертным дешифрированием, а также в ходе экспедиционных работ в мае 2021 г. и июне

2022 г. и на постоянных мониторинговых площадках Дагестанского федерального исследовательского центра РАН (ДФИЦ РАН) (расположение модельных площадок показано на рис. 1). Ежемесячные композиты Sentinel-2 доступны в рамках Центра коллективного пользования (ЦКП) «ИКИ-Мониторинг» (Loupian et al., 2022), представляют собой спектральные каналы и вегетационный индекс NDVI (англ. Normalized Difference Vegetation Index – нормализованный разностный вегетационный индекс) по данным Sentinel-2A/В второго уровня обработки за период с 2019 по 2022 г. с отфильтрованной облачностью и радиометрической нормализацией (Кашницкий и др., 2022). Наличие этих данных за март-ноябрь каждого года позволяет выполнить анализ не только многолетних, но и сезонных изменений в площади опустынивания, что ранее на юге Европейской России выполнялось только по данным среднего или низкого пространственного разрешения (Титкова, Золотокрылин, 2022; Шинкаренко, Барталев, 2020а). Были проанализированы данные с марта по ноябрь 2019-2022 гг., кроме марта 2021 г. и ноября 2022 г., когда безоблачные данные на территорию полностью отсутствовали. Таким образом, на каждый год получены данные о площадях открытых песков и котловин выдувания за 8-9 мес. Продолжительность исследования ограничена отсутствием в доступе данных Sentinel-2 уровня обработки L2A, необходимых для получения месячных композитов. Примеры картографирования подвижных песков и дефлированных площадей на основе классификации синтезированных изображений Sentinel, включающих каналы видимого, ближнего инфракрасного диапазонов и NDVI разрешения 10 м, показаны на *рис.* 2. Дальнейшая обработка результатов производилась в программе QGIS 3.



Рис. 2. Примеры картографирования открытых песков и дефлированных территорий севернее пос. Восточно-Сухокумск: *a* — май 2019 г.; *б* — май 2020 г.; *в* — октябрь 2020 г.; *г* — апрель 2021 г. Красный контур — результат классификации открытых песков и дефлированных площадей



Рис. 3. Примеры картографирования изменений площадей опустынивания: *a* — май 2019 г.; *б* — март 2020 г.; *в* — ноябрь 2020 г.; *г* — минимальная (I) и максимальная (II) площади опустынивания в 2020 г.; изменение минимальной (*д*) и максимальной (*e*) площадей опустынивания в 2020 г. по отношению к 2019 г. (I — без изменений, II — прирост, III — восстановление)

Предварительно были картографированы соровые понижения и солончаки, которые в работе не учитывались, так как лишены растительности в силу естественных причин и не могут считаться участками опустынивания (Берденгалиева и др., 2022). Также были исключены пахотные земли на основе данных типов земного покрова ESA WorldCover разрешения 10 м (Zanaga et al., 2021), поскольку свежевспаханные поля могут ошибочно классифицироваться как опустынивание. Очаги опустынивания распределены на размерные классы по площади согласно исследованию (Kulik et al., 2013), под очагами опустынивания в данном случае подразумеваются обособленные участки, лишённые растительного покрова. При этом отдельные очаги опустынивания могут со временем объединяться в один более крупный вследствие эолового переноса или распадаться на несколько более мелких благодаря процессам

восстановления растительного покрова. Кроме расчёта площадей опустынивания на разные периоды, были определены и разности между ними, что дало возможность выявить приращение (новые площади опустынивания, которые есть в текущем месяце/году, но отсутствовали в предыдущем), восстановление площадей (площади опустынивания, отмеченные в предыдущем месяце/году, но отсутствующие в текущем), а также «переходящие» участки — пересечение между двумя периодами, общее для обоих. Помимо этого, определялись максимальные и минимальные площади опустынивания для каждого года: в первом случае — сумма всех пикселей, которые относились к классу опустынивания не менее чем в одном месяце, во втором — только те пиксели класса опустынивания, которые сохранялись в этом состоянии на протяжении всех месяцев года (рис. 3, см. с. 164). Поскольку изменение площадей открытых песков и дефлированных территорий состоит из непрерывных процессов образования новых и зарастания существующих (Стасюк и др., 2004), то оценка изменений площадей новых и восстановившихся очагов опустынивания позволяет более точно проанализировать факторы соответствующих процессов (Шинкаренко, 2019). Метеоданные взяты на метеорологическом сайте rp5.ru (https://rp5.ru/). Достоверные данные о поголовье на территорию исследований в открытом доступе отсутствуют, поэтому пастбищные нагрузки не анализировались.

Результаты и обсуждение

В результате классификации ежемесячных композитных ихображений Sentinel-2 определены площади открытых песков и дефлированных территорий за март – ноябрь 2019– 2022 гг. (*puc. 4*, см. с. 166). Полученные данные достаточно точно соотносятся с оценками по Landsat-8, -9 согласно работе (Шинкаренко и др., 2022а) на май 2019 и 2020 гг.: 20,1 и 49,5 тыс. га — по Landsat и 23,7 и 58,8 тыс. га — по Sentinel-2 соответственно. Существенные различия имеются в площадях на весну 2021 и 2022 гг. (в 2–3 раза), что может быть связано с примерно на треть меньшей площадью исследований в указанной выше работе по данным Landsat. Кроме того, более высокое разрешение данных Sentinel-2 позволяет выделять более мелкие очаги опустынивания и точнее разделять участки на границах песчаных массивов. Вместе с тем по изображениям Sentinel-2 успешно идентифицируются песчаные шлейфы, выдуваемые в летний период с грунтовых дорог (см., например, *puc. 3e*) и являющиеся также индикаторами антропогенного опустынивания (Виноградов, 1996; Стасюк, Добрынин, 2013), для выделения которых недостаточно разрешения Landsat. Помимо указанных причин может играть роль и несовпадение дат спутниковых изображений Landsat и Sentinel-2, из-за чего возможны существенные расхождения в оценках площадей.

На протяжении всего периода исследований количественно преобладали небольшие очаги опустынивания площадью до 1 га каждый. До 2020 г. площадь опустынивания очагов разных классов распределялась достаточно равномерно: от 15 до 40 % на каждый размерный класс до 1000 га (см. *рис. 4*). Это было характерно также и для территории расположенных севернее Чёрных земель (Шинкаренко, 2019). В июне 2020 г. в Дагестане появились очень крупные очаги опустынивания площадью более 1000 га каждый, а в ноябре отмечено два песчаных массива площадью более 10 тыс. га и один — более 100 тыс. га. В первую очередь это вызвано эоловым переносом песка при пыльных бурях в сентябре и октябре 2020 г.

Максимальные площади опустынивания были отмечены в октябре и ноябре 2020 г. Предпосылкой для этого стали сильная засуха и неконтролируемый выпас домашнего скота (Титкова, Золотокрылин, 2022; Шинкаренко, Барталев, 2021), что привело к масштабным пыльным бурям (Шинкаренко и др., 2020), которые резко увеличили площадь лишённых растительного покрова земель (Шинкаренко, Барталев, 2020а). В ноябре 2020 г. площадь открытых песков и дефлированных территорий на севере Дагестана достигла почти 250 тыс. га, что сопоставимо с оценкой по данным MODIS (*англ.* Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) в 227 тыс. га на 14 октября 2020 г. (Шинкаренко, Барталев, 2020а). Таким образом, неблагоприятные гидротермические условия, чрезмерные пастбищные нагрузки и последовавшие за ними пыльные бури увеличили площадь лишённых растительного покрова земель в течение одного вегетационного сезона в 10 раз.











Рис. 4. Сезонная динамика площадей опустынивания (слева) (І — переходящая площадь опустынивания, ІІ — новая площадь опустынивания, ІІІ — восстановление участков опустынивания) и очагов опустынивания размерных классов площади (справа) (широкие столбцы — площадь, узкие — количество): а — 2019 г.; б — 2020 г.; в — 2021 г.; г — 2022 г.

г

Аналогичные процессы в 2020 г. наблюдались также и в Калмыкии, где площадь пастбищ с NDVI < 0,2 с мая по август увеличилась на два порядка, в 5–6 раз превысив среднемноголетние площади данной категории пастбищ (Титкова, Золотокрылин, 2022).

Сезонный ход площадей опустынивания в большинстве случаев совпадает с динамикой температуры воздуха (см. *рис. 4, 5*, см. с. 167). В весенний период влагозапас в почве способствует росту растительности, но по мере прогрева воздуха к середине года растительность частично заканчивает вегетацию. Рост температуры воздуха приводит к увеличению испарения, что ухудшает условия развития растений, также иссушение верхнего горизонта песчаных почв способствует активизации эоловых процессов (Алахвердиев, Набиев, 2017).



Рис. 5. Сезонная динамика температуры воздуха (I), количества дней с максимальной скоростью ветра больше 10 м/с (II), накопленная сумма осадков (III): *a* — 2019 г.; *б* — 2020 г.; *в* — 2021 г.; *г* — 2022 г. Сплошная линия — Южно-Сухокумск, пунктирная — Кочубей

В конце лета и начале осени при снижении температуры воздуха и наличии осадков отмечается пик вегетации однолетних сорных растений, галофитов и полукустарничков, что обычно приводит к частичному закреплению песков, в середине осени активизируется вегетация злаков, уходящих на зимовку (Шинкаренко, Барталев, 2020б). В совокупности эти процессы способствуют закреплению песков и зарастанию дефлированных участков. Засухи и сильные ветры на любом этапе вегетационного периода существенно ухудшают условия вегетации и способствуют росту площадей опустынивания (Стасюк и др., 2004; Шинкаренко, 2019).



Рис. 6. Межгодовая динамика площадей опустынивания: *а* — максимальная площадь за год; *б* — минимальная площадь за год (I — переходящая площадь опустынивания, II — восстановление очагов опустынивания, III — новая площадь опустынивания); *в* — соотношение минимальной (I) и максимальной (I + II) годовых площадей опустынивания; *е* — площадь с разным количеством месяцев без растительного покрова (1−9 — количество месяцев); *д*, *е* — первый и последний месяцы фиксации очагов опустынивания за апрель – октябрь

В 2019 г. почти три четверти годовой суммы осадков выпало в первом полугодии (см. *рис. 5a*), что привело к осенней засухе, в результате которой в конце года отмечался рост площадей открытых песков (см. *рис. 4a*). Коэффициенты корреляции площадей очагов опустынивания, температуры воздуха и средних максимальных скоростей ветра в 2019 г. составили r = 0.81 (p < 0.01) и r = 0.75 (p < 0.05) соответственно. При этом сильные ветры препятствовали зарастанию песков из-за эолового переноса: для зарастающих площадей и средней максимальной скорости ветра r = -0.84 (p < 0.01). В 2020 г. также отмечена значимая связь переходящих и новых площадей открытых песков с максимальными скоростями ветра (r = 0.80, p < 0,01). Этот год характеризовался засухой, сумма осадков была ниже нормы на 30-40 % (см. рис. 5б). Также в конце сентября и начале октября 2020 г. в регионе были сильные пыльные бури, которые привели к двукратному росту площадей дефлированных территорий и областей аккумуляции песка (Шинкаренко, Барталев, 2020а; Шинкаренко и др., 2020). В 2021 г. пыльные бури июня вызвали рост площадей подвижных песков и котловины выдувания, но увеличение увлажнения в августе – сентябре способствовало стабилизации. Лето 2022 г. характеризовалось атмосферной и почвенной засухой, следствием чего стали продолжительные пыльные бури в августе, которые тем не менее не привели к существенному росту площадей подвижных песков. Это может быть связано с относительно благоприятными условиями на севере Дагестана по сравнению с прилегающими частями Ставропольского края и Калмыкии, где наблюдался дефицит влажности поверхностного горизонта почвы до 2,5 %, в то время как в северном Дагестане влажность почвы была в пределах нормы (Шинкаренко, Барталев, 2022).

Высокая динамичность очагов опустынивания, связанная с эоловым переносом, распределением пастбищных нагрузок, гидротермическими условиями для вегетации растительности, способной закреплять пески, требует учитывать сезонные изменения площадей лишённых растительного покрова пастбищ при анализе их многолетних изменений. Вариантами ежегодной характеристики опустынивания могут выступать максимальные и минимальные годовые площади, включающие участки, которые были отнесены к опустыниванию хотя бы на одну дату в течение года либо на протяжении всего года соответственно (*рис. 6*, см. с. 168). При этом многолетняя динамика площадей может сильно различаться. Например, отмечено снижение максимальных годовых площадей опустынивания от 2020 к 2022 г., но минимальные площади увеличивались на протяжении 2019–2022 гг. (см. *рис. ба, б*), как и доля очагов опустынивания, существующих весной и восстановившихся осенью (см. *рис. бд, е*).



Рис. 7. Минимальные (I) и максимальные (II) площади опустынивания: *a* — 2019 г.; *б* — 2020 г.; *в* — 2021 г.; *г* — 2022 г.

Это может быть связано с формированием устойчивых массивов открытых песков, площадь которых превышает возможности самовосстановления без дополнительных мер фитомелиорации (Manaenkov, Rybashlykova, 2020). Отношение площадей таких устойчивых очагов опустынивания к максимальной годовой (см. *рис. 6в*, 7, см. с. 169) при этом может составлять от 5 раз (в 2022 г.) до 15 раз (в 2020 г.). Минимальная площадь опустынивания в северном Дагестане в 2022 г. составила 30,1 тыс. га, что сопоставимо с оценкой по данным Landsat в 27,2 тыс. га на конец мая 2022 г. (Шинкаренко и др., 2022а).

Около половины площади опустынивания наблюдается на протяжении всего 1–3 мес в году (см. *рис. 6г*), которые приходятся на самый неблагоприятный период: летние и осенние засухи, пыльные бури и т.п. Примерно на такой же площади год от года восстанавливается растительный покров. Только 15–30 % площади очагов опустынивания прослеживаются на протяжении всего вегетационного периода. Решением проблемы сильных сезонных колебаний площадей опустынивания при анализе их многолетней динамики может стать раздельное использование максимальных и минимальных годовых площадей опустынивания.

Заключение

Использование ежемесячных композитных изображений спутника Sentinel-2 позволило выполнить анализ сезонной динамики площадей опустынивания за период 2019–2022 гг. Установлены существенные изменения площадей открытых песков и дефлированных территорий в течение года: от 2 до 10 раз. Минимальные изменения характерны для марта – мая, в то время как после июня площадь опустынивания может увеличиваться в разы. Таким образом, при картографировании открытых песчаных массивов и котловин выдувания крайне важно учитывать сезонные особенности. Наиболее критичным это становится при анализе многолетних изменений, поскольку они могут быть вызваны не столько внешними факторами, сколько некорректным подходом к выбору дат спутниковых данных.

Установлена значимая положительная связь прироста площадей опустынивания, температуры воздуха и средних максимальных скоростей ветра и отрицательная связь восстановления подвижных песков со скоростями ветра.

На севере Дагестана в 2022 г. отмечается восстановление очагов опустынивания, образовавшихся в результате засухи и пыльных бурь 2020—2021 гг.: с 240 до 70 тыс. га, но в то же время площадь стабильных очагов опустынивания увеличилась с 10 тыс. га в 2019 г. до 30 тыс. га в 2022 г. Необходим мониторинг подвижных песков для своевременного принятия мер по регулированию пастбищных нагрузок и проведения фитомелиоративных работ, чтобы избежать дальнейшей деградации ландшафтов.

Работа выполнена в рамках темы ДФИЦ РАН № 122032200321-4, а также по теме Института космических исследований РАН «Мониторинг» (госрегистрация № 122042500031-8) с использованием инфраструктуры ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2015) и возможностей информационного сервиса «Вега» (Loupian et al., 2022).

Литература

- 1. *Алахвердиев Ф. Д., Набиев О. С.* Исследование механизмов дефляции в Северо-Западном Прикаспии индикационными методами для целей охраны и оптимизации почвенных ресурсов // Изв. Дагестанского гос. педагог. ун-та. Естественные и точные науки. 2017. Т. 1. № 3. С. 90–95.
- 2. *Андреева О. В., Куст Г. С.* Оценка состояния земель в России на основе концепции нейтрального баланса их деградации // Изв. Российской акад. наук. Сер. геогр. 2020. № 5. С. 737–749. DOI: 10.31857/S2587556620050052.
- 3. *Берденгалиева А. Н., Шинкаренко С. С., Выприцкий А.А.* Геоинформационное картографирование соровых понижений в Северо-Западном Прикаспии // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2022. Т. 28. Ч. 1. С. 359–367. DOI: 10.35595/2414-9179-2022-1-28-359-367.
- 4. Биарсланов А.Б., Залибеков З.Г., Гасанова З.У., Магомедова М.Х.М., Гаджиев И.Р. Опыт применения значений вегетационного индекса в дистанционных исследованиях динамики продуктивности по-

чвенного покрова Терско-Кумской низменности // Изв. Северо-Кавказского науч. центра высшей школы. Естественные науки. 2021. № 4(212). С. 81–89. DOI: 10.18522/1026-2237-2021-4-81-89.

- 5. *Биткаева Л.Х.* Социоестественный ландшафтогенез и антропогенное опустынивание Терских песков // Вестн. Воронежского гос. ун-та. Сер.: География. Геоэкология. 2000. № 1. С. 109–111.
- 6. *Виноградов Б. В.* Исследование индикаторов при мониторинге опустынивания юга России // Аридные экосистемы. 1996. Т 2. № 4. С. 38–54.
- 7. Виноградов Б. В., Кулик К. Н. Картографирование динамики опустынивания земель по повторным аэрокосмическим снимкам // Изв. Российской акад. наук. Сер. геогр. 1996. № 2. С. 131–140.
- 8. Дорошенко В. В. Геоинформационный анализ развития процессов опустынивания в Ставропольском крае // Научно-агрономический журн. 2022. № 3(118). С. 31–36. DOI: 10.34736/ FNC.2022.118.3.004.31-36.
- 9. *Залибеков З. Г.* Процессы опустынивания и их влияние на почвенный покров. М.: ДНЦ РАН, 2000. 219 с.
- 10. Залибеков З. Г. О закономерностях формирования продукционных ресурсов засоленных почв Терско-Кумской низменности // Аридные экосистемы. 2018. Т. 24. № 2(75). С. 3–10.
- 11. *Кашницкий А. В., Бурцев М.А., Прошин А.А.* Технология создания безоблачных композитных изображений по данным спутников серии Sentinel-2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 5. С. 76–85. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-76-85.
- 12. *Куст Г.С., Глазовский Н.Ф., Андреева О.В., Шевченко Б.П., Добрынин Д.В.* Основные результаты по оценке и картографированию опустынивания в Российской Федерации // Аридные экосистемы. 2002. Т. 8. № 6. С. 7–27.
- 13. Лобковский В.А., Андреева О. В., Куст Г.С. Интеграция международной и национальной систем мониторинга и оценки деградации земель в России // Изв. Российской акад. наук. Сер. геогр. 2022. Т. 86. № 1. С. 9–27. DOI: 10.31857/S2587556622010095.
- 14. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Кашницкий 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.
- 15. *Манаенков А.С., Сурхаев Г.А., Сурхаев И.Г.* Актуальные задачи лесной мелиорации в Терско-Кумском междуречье // Изв. Нижневолжского агроуниверситет. комплекса: наука и высшее образование. 2017. № 2(46). С. 97–104.
- 16. *Мирзоев Э. М., Баламирзоев М.А., Дадаев Н. Г.* К вопросу о рациональном использовании и охране почв аридных экосистем в условиях опустынивания // Аридные экосистемы. 1997. Т. 3. № 5. С. 35–41.
- Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство)» / под ред. Р.С.-Х. Эдельгериева. М.: ООО «Издательство МБА», 2021. Т. 3. 700 с. DOI: 10.52479/978-5-6045103-9-1.
- 18. *Радочинская Л. П., Кладиев А. К., Рыбашлыкова Л. П.* Продукционный потенциал восстановленных пастбищ Северо-Западного Прикаспия // Аридные экосистемы. 2019. Т. 25. № 1(78). С. 61–68.
- 19. Сератирова В. В., Бананова В.А. Оптимизация пастбищной нагрузки в Республике Калмыкия // Международ. научно-исслед. журн. 2016. № 11(53). Ч. 5. С. 98–100.
- 20. *Стасюк Н. В., Добрынин Д. В.* Оценка динамики опустынивания почвенного покрова низменных территорий Дагестана с использованием космических снимков // Почвоведение. 2013. № 7. С. 778. DOI: 10.7868/S0032180X13070113.
- 21. Стасюк Н. В., Добровольский Г. В., Залибеков З. Г., Саидов А. К., Добрынин Д. В. Оценка деградации и опустынивания почвенного покрова северного равнинного Дагестана // Экология. 2004. № 3. С. 172–178.
- 22. *Сурхаев Г.А., Сурхаев И. Г., Кулик К. Н., Стародубцева Г. П.* Опыт лесомелиорации экосистем песчаных массивов Терско-Кумского междуречья // Экосистемы: экология и динамика. 2019. Т. 3. № 4. С. 5–23. DOI: 10.24411/ 2542-2006-2019-10043.
- 23. *Титкова Т.Б., Золотокрылин А. Н.* Мониторинг подверженных опустыниванию земель Республики Калмыкия // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 2. С. 130–141. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-2-130-141.
- 24. Шинкаренко С. С. Пространственно-временная динамика опустынивания на Черных землях // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 6. С. 155–168. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-6-155-168.
- 25. Шинкаренко С. С., Барталев С. А. (2020а) Последствия пыльных бурь 2020 года на юге европейской части России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 7. С. 270–275. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-270-275.

- 26. Шинкаренко С. С., Барталев С. А. (20206) Сезонная динамика NDVI пастбищных ландшафтов Северного Прикаспия по данным MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 4. С. 179–194. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-179-194.
- 27. 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. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-291-297.
- 28. Шинкаренко С. С., Барталев С. А. Спутниковые наблюдения пыльных бурь в России в 2022 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 6. С. 293–300. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-6-293-300.
- 29. Шинкаренко С. С., Ткаченко Н. А., Барталев С. А., Юферев В. Г., Кулик К. Н. Пыльные бури на юге европейской части России в сентябре октябре 2020 года // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 5. С. 291–296. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-291-296.
- 30. Шинкаренко С. С., Барталев С. А., Берденгалиева А. Н., Дорошенко В. В. (2022а) Спутниковый мониторинг опустынивания на юге европейской России в 2019–2022 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 5. С. 319–327. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-319-327.
- 31. Шинкаренко С. С., Джамирзоев Г. С., Васильченко А.А. (20226) Проблема опустынивания в биосферном резервате ЮНЕСКО «Кизлярский залив» // Геогр. вестн. 2021. № 4(59). С. 99–112. DOI: 10.17072/2079-7877-2021-4-99-112.
- 32. *Kulik K. N., Rulev A. S., Yuferev V.G.* Geoinformation analysis of desertification hotspots in Astrakhan oblast // Arid Ecosystems. 2013. V. 3. No. 3. P. 184–190. DOI: 10.1134/S2079096113030074.
- 33. *Kulik K. N., Rulev A. S., Yuferev V. G.* Geoinformation analysis of desertification dynamics in the territory of Astrakhan oblast // Arid Ecosystems. 2015. V. 5. No. 3. P. 134–141. DOI: 10.1134/S2079096115030087.
- Kulik K. N., Petrov V. I., Rulev A. S., Kosheleva O. Y., Shinkarenko S. S. On the 30th Anniversary of the "General plan to combat desertification of Black lands and Kizlyar pastures" // Arid Ecosystems. 2018. V. 8. No. 1. P. 5–20. DOI: 10.1134/S2079096118010067.
- Loupian E.A., Bourtsev M.A., Proshin A.A., Kashnitskii A.V., Balashov I.V., Bartalev S.A., Konstantinova A. M., Kobets D.A., Radchenko M.V., Tolpin V.A., Uvarov I.A. Usage Experience and Capabilities of the VEGA-Science System // Remote Sensing. 2022. V. 14. No. 1. Art. No. 77. DOI: 10.3390/rs14010077.
- Manaenkov A. S., Rybashlykova L. P. Increasing the Efficiency of Plant-Cover Restoration in the Modern Focus of Deflation on Pastures of the Northwestern Caspian Region // Arid Ecosystems. 2020. V. 10. No. 4. P. 358–367. DOI: 10.1134/S2079096120040149.
- Zalibekov Z. G., Paizulaev R. M., Biibolatova Z. D., Zalibekova M. Z., Biarslanov A. B. Spatial variability of soils and salinization processes in the coastal zone of the Terek-Kuma Lowland // Eurasian Soil Science. 2010. V. 43. No. 4. P. 390–400. DOI: 10.1134/S1064229310040046.
- Zanaga D., Van De Kerchove R., De Keersmaecker W., Souverijns N., Brockmann C., Quast R., Wevers J., Grosu A., Paccini A., Vergnaud S., Cartus O., Santoro M., Fritz S., Georgieva I., Lesiv M., Carter S., Herold M., Li L., Tsendbazar N. E., Ramoino F., Arino O. ESA WorldCover 10 m 2020 v100. 2021. DOI: 10.5281/zenodo.5571936.

Mapping and analysis of desertification areas seasonal dynamics in the north of Dagestan based on Sentinel-2 monthly composites

A. B. Biarslanov¹, S. S. Shinkarenko², I. R. Gadzhiev¹

¹ Dagestan Federal Research Center RAS, Makhachkala 367000, Russia ² Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia E-mail: axa73@mail.ru

The paper is devoted to mapping and analysis of the seasonal dynamics of desertification (open sands and blowout basins) of the Kizlyar pastures located in the northern part of the Republic of Dagestan. The research is based on the monthly Sentinel-2 composites of the second level of processing with filtered cloudiness and radiometric normalization for the period from 2019 to 2022. These data available in the Vega-Science system of the IKI-Monitoring Center for Collective Use were analyzed for the

growing seasons, except for March 2021 and November 2022, when cloudless data on the territory were completely absent. Thus, we have obtained the data on the areas of open sands and blowout basins for 8-9 months of each year. To identify desertification, we used classification with training for one class, and the reference sample was formed on the basis of expert interpretation and ground data. It has been established that the area of desertification during the year can vary from two to ten times depending on pasture loads, hydrothermal conditions and wind regime. Most of the existing studies of the long-term dynamics of desertification do not take into account this seasonal aspect of changes in the areas of open sands and blowout basins, which can lead to incorrect conclusions. Availability of monthly cloudless composites of satellite data makes it possible to track the dynamics of both minimum and maximum desertification areas during the growing season. The results obtained can be used to optimize pasture loads and develop vegetative reclamation measures in the region.

Keywords: Dagestan, remote sensing, desertification, pastures, landscape degradation

Accepted: 19.01.2023 DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-160-175

References

- 1. Alahverdiev F.D., Nabiev O.S., Analysis of Deflation Mechanisms in the North-Western Caspian Sea Region by Means of Indicating Methods of Protection and Optimization Soil Resources, *Dagestan State Pedagogical University J. Natural and Exact Sciences*, 2017, Vol. 11, No. 3, pp. 90–95 (in Russian).
- Andreeva O.V., Kust G.S., Land Assessment in Russia Based on the Concept of Land Degradation Neutrality, *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Ser. Geograficheskaya*, 2020, Vol. 84, No. 5, pp. 737–749 (in Russian), DOI: 10.31857/S2587556620050052.
- 3. Berdengalieva A.N., Shinkarenko S.S., Vypritskiy A.A., Geoinformation mapping of sor depression in the Northwestern Caspian, *InterCarto. InterGIS*, 2022, Vol. 28, Part 1, pp. 359–367 (in Russian), DOI: 10.35595/2414-9179-2022-1-28-359-367.
- 4. Biarslanov A. B., Zalibekov Z. G., Gasanova Z. U., Magomedova M. Kh. M., Gadzhiev I. R., Application experience of the vegetation index in remote sensing research of soil cover productivity dynamics in the Terek-Kuma lowland, *Izvestiya Severo-Kavkazskogo nauchnogo tsentra vysshei shkoly. Estestvennye nauki*, 2021, No. 4(212), pp. 81–89 (in Russian), DOI: 10.18522/1026-2237-2021-4-81-89.
- 5. Bitkaeva L. Kh., Socio-natural landscape genesis and anthropogenic desertification of the Terek sands, *Vestnik Volzhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Geografiya. Geoekologiya*, 2000, No. 1, pp. 109–111 (in Russian).
- 6. Vinogradov B.V., Study of indicators for monitoring desertification in the South of Russia, *Aridnye ekosistemy*, 1996, Vol. 2, No. 4, pp. 38–54 (in Russian).
- 7. Vinogradov B. V., Kulik K. N., Mapping the dynamics of land desertification based on repeated aerospace images, *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Ser. geograficheskaya*, 1996, No. 2, pp. 131–140 (in Russian).
- Doroshenko V.V., Geoinformation Analysis of the Desertification Processes Development in the Stavropol Region, *Nauchno-agronomicheskii zhurnal*, 2022, No. 3(118), pp. 31–36 (in Russian), DOI: 10.34736/ FNC.2022.118.3.004.31-36.
- 9. Zalibekov Z.G., *Protsessy opustynivaniya i ikh vliyanie na pochvennyi pokrov* (Desertification processes and their impact on soil cover), Moscow: DNTS RAN, 2000, 219 p.
- 10. Zalibekov Z.G., Regularities of the formation of production resources on saline soils of the Terek-Kuma lowland, *Arid Ecosystems*, 2018, Vol. 8, No. 2, pp. 83–88.
- 11. Kashnitskii A.V., Burtsev M.A., Proshin A.A., Technology to create cloud-free composites from Sentinel-2 satellite data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2022, Vol. 19, No. 5, pp. 76–85 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-76-85.
- 12. Kust G.S., Glazovskii N.F., Andreeva O.V., Shevchenko B.P., Dobrynin D.V., Basic results on desertification assessment and mapping in Russian Federation, *Aridnye ekosistemy*, 2002, Vol. 8, No. 6, pp. 7–27 (in Russian).
- 13. Lobkovskiy V.A., Andreeva O.V., Kust G.S., Using National System of Land Monitoring for Assessment of Land Degradation Neutrality in Russia, *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Ser. geograficheskaya*, 2022, Vol. 86, No. 1, pp. 9–27 (in Russian), DOI: 10.31857/S2587556622010095.
- 14. 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., 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, Vol. 12, No. 5, pp. 263–284 (in Russian).

- 15. Manaenkov A.S., Surkhaev G.A., Surkhaev I.G., Actual tasks of forest reclamation in the Tersko-Kuma interfluve, *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversiteteskogo kompleksa: nauka i vysshee obrazovanie*, 2017, No. 2(46), pp. 97–104 (in Russian).
- 16. Mirzoev E. M., Balamirzoev M. A., Dadaev N. G., On the rational use and protection of soils in arid ecosystems under desertification conditions, *Arid ecosystems*, 1997, Vol. 3, No. 5, pp. 35–41.
- 17. National report "Global climate and soil cover of Russia: drought manifestations, prevention, control measures, elimination of consequences and adaptation measures (agriculture and forestry)", Moscow: OOO "Izdatel'stvo MBA", 2021, Vol. 3, 700 p. (in Russian), DOI: 10.52479/978-5-6045103-9-1.
- Radochinskaya L. P., Kladiev A. K., Rybashlykova L. P., Production potential of restored pastures of the Northwestern Caspian, *Arid Ecosystems*, 2019, Vol. 9, No. 1, pp. 51–58, DOI: 10.1134/S2079096119010086.
- Seratirova V.V., Bananova V.A., Grazing pressure optimization in the republic of Kalmykia, *Mezhduna-rodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*, 2016, No. 11(53), Issue 5, pp. 98–100, DOI: 10.18454/ IRJ.2016.53.231.
- 20. Stasyuk N. V., Dobrovol'skii G. V., Dobrynin D. V., Zalibekov Z. G., Saidov A. K., Assessment of soil cover degradation and desertification in northern lowland Dagestan, *Russian J. Ecology*, 2004, Vol. 35, No. 3, pp. 144–149, DOI: 10.1023/B:RUSE.0000025963.17344.37.
- 21. Stasyuk N. V., Dobrynin D. V., Assessment of the dynamics of desertification of the soil cover of low-lying territories of Dagestan using satellite images, *Pochvovedenie*, 2013, No. 7, p. 778 (in Russian), DOI: 10.7868/S0032180X13070113.
- 22. Surkhaev G.A., Surkhaev I.G., Kulik K.N., Starodubtseva G.P., Forest reclamation experience in sandy massifs ecosystems of the Terek-Kuma interfluve, *Ekosistemy: ekologiya i dinamika*, 2019, Vol. 3, No. 4, pp. 5–23 (in Russian), DOI: 10.24411/2542-2006-2019-10043.
- 23. Titkova T. B., Zolotokrylin A. N., Monitoring of lands affected by desertification in the Republic of Kalmykia, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2022, Vol. 19, No. 2, pp. 130–141 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-2-130-141.
- 24. Shinkarenko S.S., Spatial-temporal dynamics of desertification in Black Lands, *Sovremennye problemy* distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa, 2019, Vol. 16, No. 6, pp. 155–168 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-6-155-168.
- 25. Shinkarenko S. S., Bartalev S. A. (2020a), Consequences of dust storms in the south of the European part of Russia in September October 2020, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, Vol. 17, No. 7, pp. 270–275 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-270-275.
- 26. Shinkarenko S.S., Bartalev S.A. (2020b), NDVI seasonal dynamics of the North Caspian pasture landscapes according to MODIS data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, Vol. 17, No. 4, pp. 179–194 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-179-194.
- 27. Shinkarenko S. S., Bartalev S. A., Assessment of desertification area in the south of the European part of Russia in 2021, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2021, Vol. 18, No. 4, pp. 291–297 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-291-297.
- 28. Shinkarenko S. S., Bartalev S. A., Satellite observations of dust storms in southern Russia in 2022, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2022, Vol. 19, No. 6, pp. 293–300 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-6-293-300.
- 29. Shinkarenko S. S., Tkachenko N.A., Bartalev S.A., Yuferev V.G., Kulik K.N., Dust storms in the south of the European part of Russia in September October 2020, *Sovremennye problemy distantsion-nogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, Vol. 17, No. 5, pp. 291–296 (in Russian), DOI: 10.1134/S2079096118010067.
- Shinkarenko S. S., Bartalev S. A., Berdengalieva A. N., Doroshenko V.V. (2022a), Satellite monitoring of desertification processes in the south of European Russia in 2019–2022, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2022, Vol. 19, No. 5, pp. 319–327 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-319-327.
- 31. Shinkarenko S.S., Dzhamirzoev G.S., Vasil'chenko A.A. (2022b), The problem of desertification in the Kizlyarsky Bay UNESCO biosphere reserve, *Geograficheskii vestnik*, 2021, No. 4(59), pp. 99–112 (in Russian), DOI: 10.17072/2079-7877-2021-4-99-112.
- 32. Kulik K. N., Rulev A. S., Yuferev V.G., Geoinformation analysis of desertification hotspots in Astrakhan oblast, *Arid Ecosystems*, 2013, Vol. 3, No. 3, pp. 184–190, DOI: 10.1134/S2079096113030074.
- 33. Kulik K. N., Rulev A. S., Yuferev V. G., Geoinformation analysis of desertification dynamics in the territory of Astrakhan oblast, *Arid Ecosystems*, 2015, Vol. 5, No. 3, pp. 134–141, DOI: 10.1134/S2079096115030087.
- Kulik K. N., Petrov V. I., Rulev A. S., Kosheleva O. Y., Shinkarenko S. S., On the 30th Anniversary of the "General plan to combat desertification of Black lands and Kizlyar pastures", *Arid Ecosystems*, 2018, Vol. 8, No. 1, pp. 5–20, DOI: 10.1134/S2079096118010067.
- 35. Loupian E. A., Bourtsev M. A., Proshin A. A., Kashnitskii A. V., Balashov I. V., Bartalev S. A., Konstantinova A. M., Kobets D. A., Radchenko M. V., Tolpin V. A., Uvarov I. A., Usage Experience and Capabilities of the VEGA-Science System, *Remote Sensing*, 2022, Vol. 14, No. 1, Art. No. 77, DOI: 10.3390/rs14010077.

- Manaenkov A. S., Rybashlykova L. P., Increasing the Efficiency of Plant-Cover Restoration in the Modern Focus of Deflation on Pastures of the Northwestern Caspian Region, *Arid Ecosystems*, 2020, Vol. 10, No. 4, pp. 358–367, DOI: 10.1134/S2079096120040149.
- 37. Zalibekov Z. G., Paizulaev R. M., Biibolatova Z. D., Zalibekova M. Z., BIarslanov A. B., Spatial variability of soils and salinization processes in the coastal zone of the Terek-Kuma Lowland, *Eurasian Soil Science*, 2010, Vol. 43, No. 4, pp. 390–400, DOI: 10.1134/S1064229310040046.
- Zanaga D., Van De Kerchove R., De Keersmaecker W., Souverijns N., Brockmann C., Quast R., Wevers J., Grosu A., Paccini A., Vergnaud S., Cartus O., Santoro M., Fritz S., Georgieva I., Lesiv M., Carter S., Herold M., Li L., Tsendbazar N. E., Ramoino F., Arino O., *ESA WorldCover 10 m 2020 v100*, 2021, DOI: 10.5281/zenodo.5571936.