

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ДИНАМИКИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА В РЕСПУБЛИКЕ КАРАКАЛПАКСТАН

Т. Х. Эримбетов
И. М. Сулайманов
Б. Е. Абдикаиров

АННОТАЦИЯ

В статье была проведена оценка динамики растительного покрова в Республике Каракалпакстан на основе данных ДЗЗ за период 1992-2022 гг. Для обработки спутниковых снимков использовались доступные данные инвентаризации лесов Узбекистана, данные полевых исследований, мозаика спутниковых данных LANDSAT и Sentinel-2 на ГИС-интернет платформе «Google Earth Engine». Для проведения тематического картографирования и согласования данных геоинформационной системы (ГИС) и дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) был использован экспертный анализ. Основным видом работ по набору тестовых участков (ТУ) включал сравнительный анализ структуры объектов наземного покрова с данными ДЗЗ высокого разрешения. Всего были сформированы и оценены 215 тестовых участков. Полевыми данными – 26 ТУ.

Растительность, на территории исследования, в основном сосредоточена в центральной, южной и юго-восточной части Республики. В основном, эти участки сосредоточены на особо охраняемых природных территориях (ООПТ). Для оценки делимости определенных ТУ были использованы ресурсы платформы «Google Earth Engine» позволяющие оценить спектральные кривые по всем имеющимся спектральным каналам. Процедура классификации включала два этапа. На первом этапе была проведена предварительная неуправляемая классификация. Далее, после выделения полигональных границ крупных доминирующих классов, где произошло перемешивание, используя набор ТУ (70% от общего набора данных ТУ) были проведены процедуры по вторичной классификации. В результате были получены итоговые карты наземного покрова на территорию республики за 1992 и 2022 гг. Оценка точности проводилась с использованием матрицы различий и стандартных показателей точности картографирования (коэффициента Каппа и коэффициента Общей точности классификации). В рамках правительственных постановлений Республики Узбекистан и региона Каракалпакстан полученные данные могут служить

вспомогательным материалом для проведения мониторинга и инвентаризации структуры и состояния растительного покрова, и лесных территорий Каракалпакстана.

Ключевые слова: *Растительный покров, мониторинг, Landsat, ГИС, тематические слои, оценка точности, анализ изменений.*

Введение. Мониторинг динамики растительного покрова Каракалпакстана имеет важное значение для устойчивого управления природными ресурсами и сохранения биоразнообразия. Территория региона в основном представлена пустынями и полупустынями, где растительный, в том числе лесной покров, сосредоточен в центральной, южной и юго-восточной частях республики, в основном, и границах ООПТ республики: заповедниках, заказниках и национальных парках. Поэтому основное внимание при мониторинге растительного покрова было уделено именно этим категориям земель. В связи с этим использовались разновременные спутниковые данные для оценки характеристики растительных экосистем и анализа тенденции развития растительного мира Республики Каракалпакстан. Учитывая прошлое и современное состояния растительного мира региона, можно оценить характер и интенсивность влияния антропогенных и природно-климатических факторов, которые являются важнейшими индикаторами для предотвращения или смягчения их последствий, а также динамики растительного мира в будущем. Данная работа в определенной степени служит для реализации задач, предусмотренных Постановлением Президента Республики Узбекистан №5209 от 12.02.2018 «О мерах по развитию космических исследований и технологий в Республике Узбекистан» и другими нормативно-правовыми документами, принятыми в данной сфере.

Целью данной работы является оценка динамики лесных экосистем республики и выработка рекомендаций для дальнейшего устойчивого управления ими. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- Получение цифровых карт наземного покрова за 1992 и 2022 гг.
- Проведение анализа динамики растительного покрова на территории исследования за оцениваемый период времени.
- Предложение рекомендации по увеличению возможностей устойчивости растительного покрова Республики Каракалпакстан.

Объект исследования

Республика Каракалпакстан, находящийся в составе Республики Узбекистан является пустынной страной, общей



площадью почти 166 000 км² и протяженностью с севера на юг - 930 км, с запада на восток - 1425 км, состоящей из гор (20%) и засушливых/полузасушливых районов (70%). Остальная часть страны представлена интенсивно орошаемыми долинами, расположенными вдоль реки Амударья (ФАО, 2018 г.). Деграция и потери растительного покрова, с течением времени, проявляются в снижении его доли ко всей площади республики. В Узбекистане, как и других странах Центральной Азии, леса имеют в основном защитное значение и играют важнейшую роль в борьбе с опустыниванием, предотвращением эрозии и другими природными катаклизмами, а также в защите орошаемых сельскохозяйственных угодий и пастбищ от деградации. Они оказывают существенное влияние на другие сектора национальной экономики, такие как сельское хозяйство, животноводство и т.д. Высыхание Аральского моря в значительной степени вносит вклад в постоянно прогрессирующее увеличение опустынивания, что оказывает сильнейшее негативное влияние на окружающую среду (Захадуллаев А). В этом контексте большое значение для мониторинга растительного покрова имеет применение данных дистанционного зондирования. Анализ текущих и архивных данных, в совокупности с ГИС облачными сетями позволяют проводить ретроспективный анализ состояния и развития растительных экосистем в различных пространственных масштабах. Таким образом, ГИС и ДЗЗ позволяет разработать рекомендации по устойчивому управлению как земельными, так и лесными ресурсами, которые снизят зависимость от ирригации, нехватки воды, эрозии почв, засоления и опустошения, при этом основываясь на объективных, воспроизводимых и пространственно-точных подходах (Кучкарова Б. Т).

Главный объект исследования по этой теме – растительный покров территории Республики Каракалпакстан. (Рис. 1)

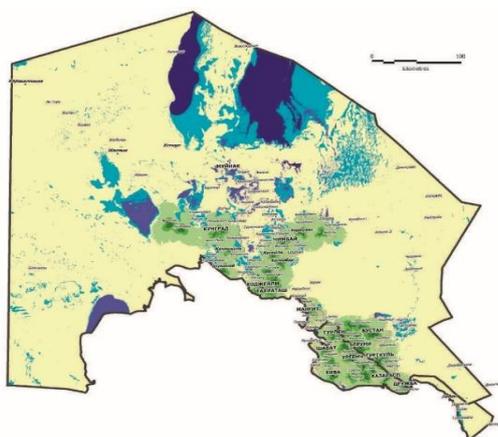


Рисунок 1. Территория Республики Каракалпакстан

Природно-климатическая характеристика Республики Каракалпакстан

Республика Каракалпакстан занимает часть Среднеазиатской равнины пустынной зоны Евразийского континента в схеме природно-географического районирования Узбекистана. Северная подзона Туранской провинции включает южную часть Аральского моря — современную дельту Амударьи и часть прилегающего к ней плато Устюрт, а также северо-западную часть пустыни Кызылкум. Современная дельта Амударьи является верхней границей «живой» части, а земли (43000° с.ш. и 43010° в.д) можно рассматривать как условную границу от города Кунград до Устюртской щели на Западе. Ее граница справа соединяется с массивом Казакдарья (Сулейманова М. Х.). Все орошаемые земли включены в Нижнеамударинский климатический район. Прибрежные районы имеют свою растительность, и ландшафтная структура этих территорий довольно разнообразна. Здесь 51 вид растений изолирован, нанесен на карту и сгруппирован по различным видам, типам и группам на основе классификационной схемы. Только в растительном покрове северо-западных Кызылкумов идентифицированы 908 видов, относящихся к 345 родам и 68 семействам. Среди них однолетние травы составляют 47% всех видов растений, многолетние травы — 38%, деревья и кустарники — 11%, полукустарники — 4%. В дельтовой части Амударьи можно выделить тугайные, галофитные и пустынные группы растений (Шомуродов Х. Ф. и др.). В результате стремительного сокращения площади водно-болотных угодий изменилось разнообразие видов растений, а также масштабы ареалов их распространения. Наиболее распространенная растительность озер и периодически затопляемых территорий вдоль Аральского моря — это тростниковые образования. Согласно анализу современных данных космической съемки, площадь тростника составляет 70 тыс/га. В последующие 20–30 лет площадь тростника в зоне орошаемых земель резко сократилась, что привело к вскрытию верхнего слоя почвы, усилению процесса опустынивания (Муталов К. А и др.).

Лесные экосистемы Каракалпакстана и их географическое описание

Лесной фонд Республики Узбекистан составляет 11 975,2 тысячи гектаров, или 26,7 процента территории страны, в том числе 3 235,7 тысячи гектаров площади покрыты лесом. Имеется разное колебание в площадях по областям республики: самая большая площадь лесов и насаждений в Навоийской области – 1 258, 3 тыс. га, на втором месте Республика Каракалпакстан – 875, 6 тыс.га (ПРИЛОЖЕНИЕ

№1 к Постановлению Президента РУз от 06.10.2020 г. №ПП-4850)

Леса Каракалпакстана существенно различаются по своему природному составу, продуктивности и выполняемым функциям. Поэтому они разделены по природным зонам на тугайные, галофитные, пустынные и полупустынные леса.

Постоянными и основными древесными растениями тугайных лесов являются *Turangil-Ropulusarainal*, *Lox Elca cagnustureosnica*. Виды *Jungarivasi Solissongaria* и *Solis Wilhelmsiana-Vilgelma* по сей день, очень редки. В настоящее время в хорошем состоянии находятся растения турангильской свиты — Бадай-Тугай и Нуримтубек. Турангильская формация широко распространена на обоих берегах реки Амударьи. В других частях дельты это образование резко сократилось. В местах с повышенной влажностью особенно распространены болотные растения *Typha* — рогоз, *Phragmitesaustralis* — тростник, *Seattophyllum* — роголистник. Под влиянием тугайных растений происходят специфические процессы почвообразования. Ветви дерева улавливают солнечный свет и создают тень, тем самым снижая скорость движения воздуха. В то же время тугайные леса служат пастбищами для скота зимой, а иногда и в течение всего года.

Тугайные леса также являются источником древесины. Древесина используется как топливо и при строительстве мостов и домов в местных условиях (Проект ГЭФ/ФАО).

Основными лесообразующими породами насаждений пустынной зоны является саксаул черный и белый (*Holoxilon persicum* Vge и *Holoxilon aphillum* Hjin.), большие площади также занимают черкезы (*Salsola Richterii* Kar., *Salsola paletziana* Litv.), кандымы (*Calligonum*), гребенщики (*Tamarix*). Большинство пустынных насаждений являются низкорослыми 0,3 – 0,4 м и с небольшим запасом древесины: запас саксаульников до 60 куб.м/га, черкезников – 30 куб.м./га, гребенщика – 3-4 куб.м./га. (Рамазонов Б. Р. и др.)

Леса **пустынно-песчаной зоны** также являются хорошими пастбищами. Они в большей своей части произрастают на песчаных почвах и выполняют большую защитную роль в предупреждении дефляции песков и смягчении резко континентального пустынного климата. Из общей (25200 тыс.га) площади пустынно-песчаных лесов покрытая лесом площадь составляет около 1010 тыс.га или 25,5% площади (Кучкарова Б. Т). В песках насаждения из саксаула, черкеза и кандыма защищают культурные земли, пути транспорта, ирригационные сооружения и селения от грозной песчаной стихии. Они являются базами местного топлива. Различают 3 типа пустынных почв:

- солончаковые пустыни (соляные отложения, влажные солончаки, голыцы и солончаки).
 - песчаная пустыня (супеси, белые пески, летучие песчаные почвы).
 - гипсовые пустынные (мелко каменные смешанные карбонатные почвы)
- типы почв. Изредка встречается и четвертый тип суглинистых почв.

Расположение лесных экосистем в Узбекистане объясняется его пустынной и горной местностью. (Рис. 2).

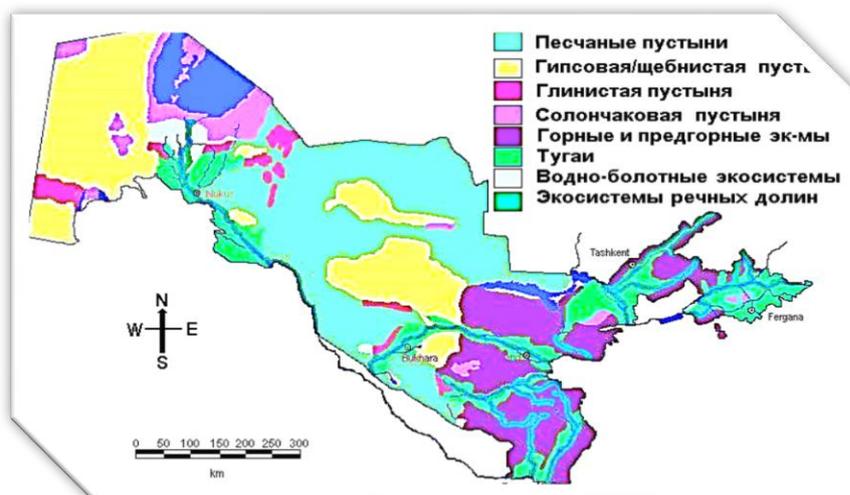


Рисунок 2. Схематическая карта лесных экосистем.

Методика исследования

В исследовании, для оценки динамики растительного покрова в Республике Каракалпакстан были использованы доступные данные инвентаризации лесов Узбекистана, данные полевых исследований, мозаика спутниковых данных LANDSAT и Sentinel-2 на ГИС-интернет платформе «Google Earth Engine, данные для контроля ресурса «Dynamic World V1», интернет-ресурсы Google Map и Yandex Map.

Область исследования



Рисунок 3. Область исследования в границах Республики Каракалпакстан по данным а) Google Maps, б) MODIS

В работе были использованы следующие документы и данные:

- Описание объекта исследуемой территории: биологические характеристики растительных экосистем Республики Каракалпакстан, природные и социальные условия исследуемой территории.

- Результаты инвентаризации и оценки лесных экосистем Каракалпакстана.

- Сводные документы, отчеты и правовые документы, регламентирующие порядок оценки в области лесного хозяйства на исследуемой территории.

- Данные по растительному покрову.

- Климатические показатели (значения температур и осадков за период с 2000 по 2021 гг.).

- Значения вегетационного индекса NDVI за 1992 и 2022 г.

Спутниковые данные.

Исходные данные в виде мозаики спутниковых данных Landsat и Sentinel-2 (Рис. 4) были получены и обработаны на ГИС-интернет платформе «Google Earth Engine» (Рис. 5).

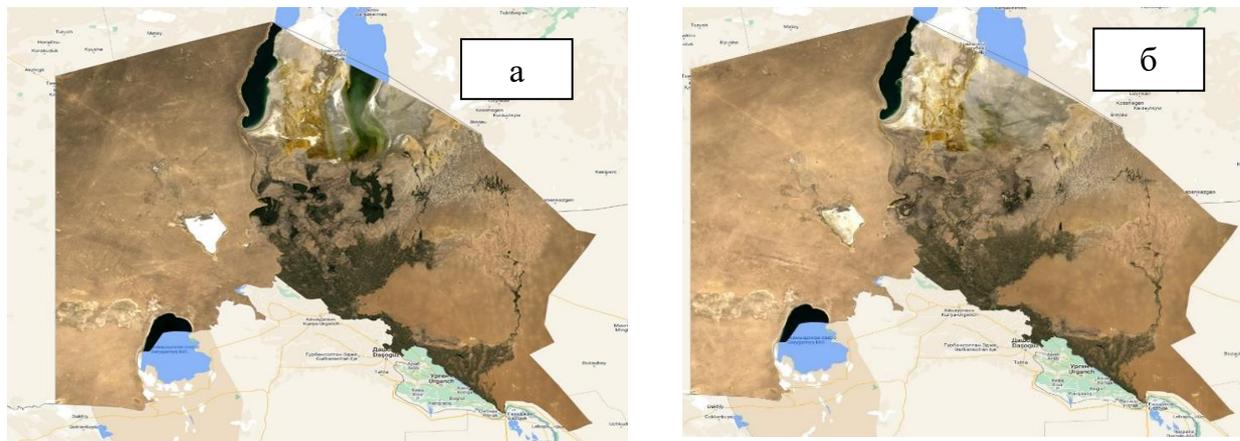


Рисунок 4. Мозаика спутниковых данных Landsat, а) 1992 г. и б) 2022 г. по границам Республики Каракалпакстан

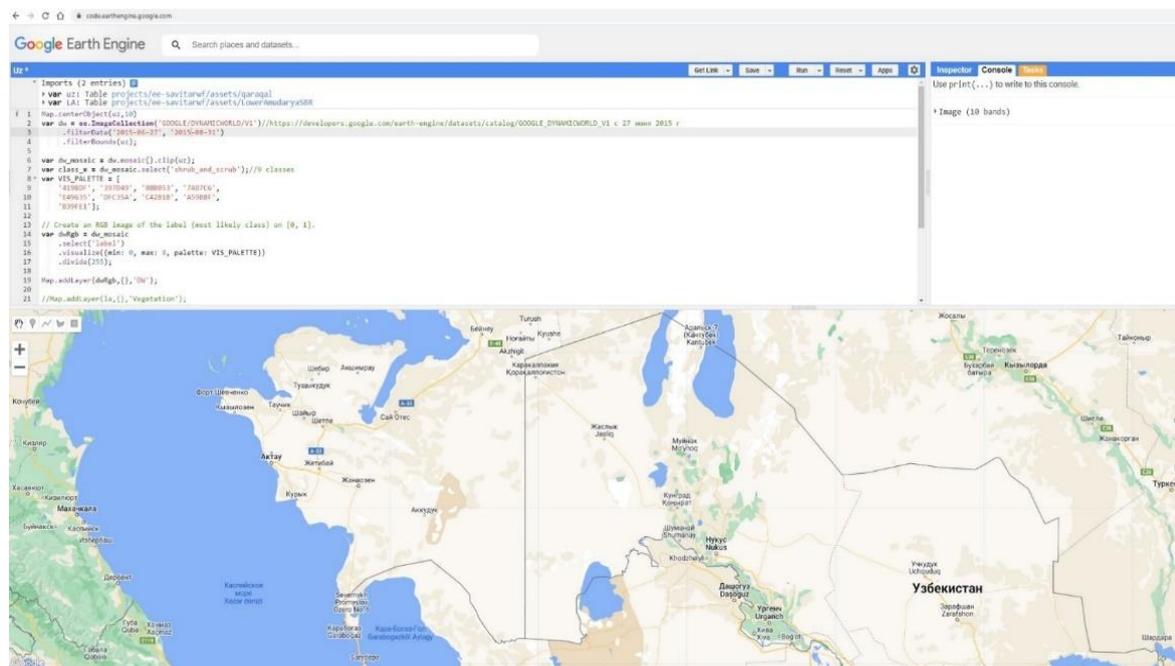


Рисунок 5. Интерфейс интернет-платформы «Google Earth Engine» на территорию исследования

Подбор тестовых участков для экспертной оценки.

Для проведения тематического картографирования и согласования данных ГИС и ДЗЗ, был использован экспертный анализ, основанный на данных полевых исследований в рамках экспедиции, доступных данных лесоинвентаризации и данных высокого пространственного разрешения доступных интернет-ресурсах.

Для этого оценивались тестовые участки (ТУ) в пределах границ территории исследования. Основной вид работ по набору ТУ включал сравнительный анализ структуры объектов наземного покрова с данными ДЗЗ высокого разрешения. Данные полевых исследований базировались на результатах ранее проведенных работ и данные лесоинвентаризации. В первую очередь определялся породный состав насаждений и далее, по возможности, определялись таксационные показатели древостоев. Всего было сформировано и оценено 215 тестовых участков. Полевыми данными – 26 ТУ (Рис. 6).

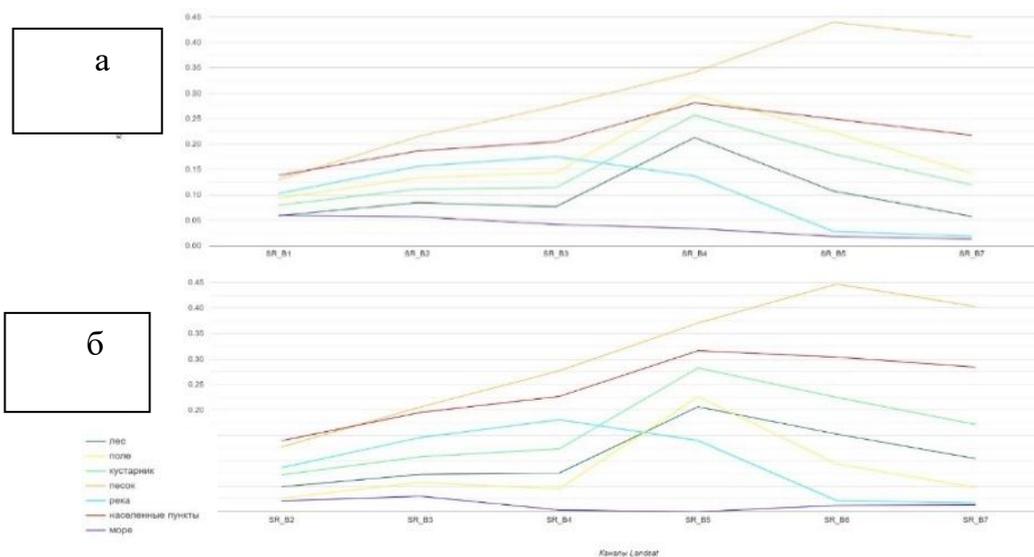
Как и во всем Узбекистане, так и в Республике Каракалпакстан кроме многообразия коренных видов, представлены деревья, завезенные из других стран, это: платан, дуб, акация, шелковица, каштан.

На следующем этапе экспертной оценки был проведен подбор ТУ согласно принятому набору основных доминирующих классов наземного покрова (лес, кустарник, трава, без растительности, населенные пункты, вода) в среде «Google Earth Engine» с дополнительной экспертной оценкой по дынным высокого пространственного разрешения ресурсов с использованием интернет ресурсов Google Map и Yandex Map.



Рисунок 6. Набор тестовых участков

Для оценки разделимости определенных ТУ были использованы ресурсы платформы «Google Earth Engine» позволяющие оценить спектральные кривые по всем имеющимся спектральным каналам (Рис.7)



**Рисунок
Оценка**

7.

разделимости ТУ по кривым спектральной яркости а) 1992 б) 2022 гг.

Анализ показал высокую долю точности выбранных ТУ для проведения как непосредственно классификации исходных изображений, так и последующей их оценки точности. Всего было набрано 215 ТУ (Рис. 8).

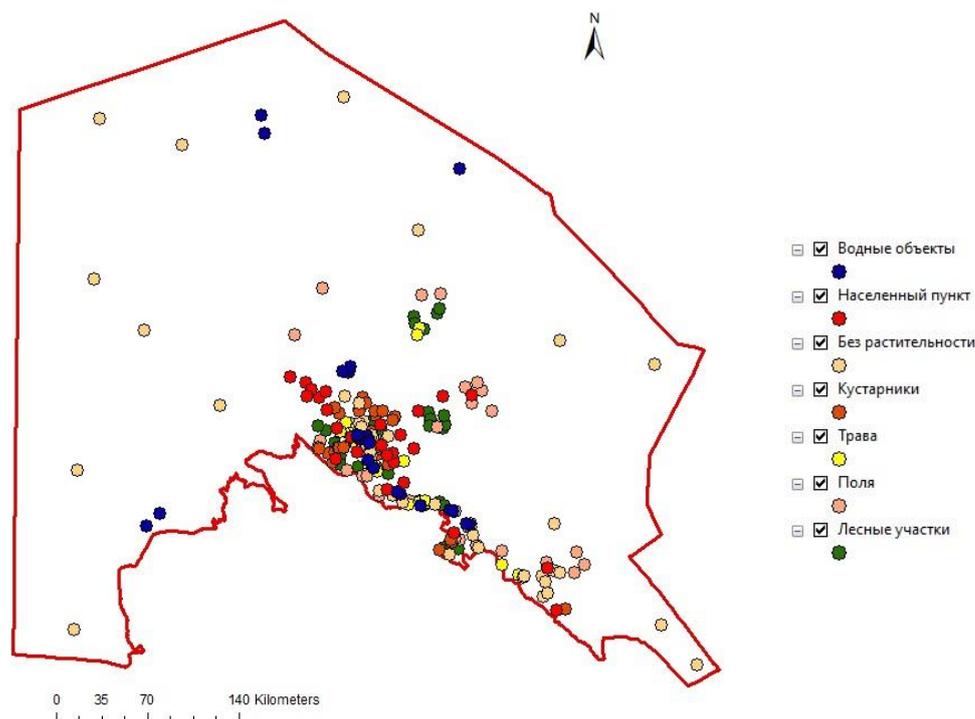


Рисунок 8. Пространственное распределение ТУ на территории исследования

В дальнейшем, 70 % ТУ были использованы для проведения управляемой классификации, а 30% для проверки точности тематического картографирования.

Оценка динамики растительных экосистем Каракалпакстана по данным ГИС и ДЗЗ с использованием пошаговой классификации.

Процедура классификации включала два этапа. На первом этапе была проведена предварительная неуправляемая классификация с целью получения основных доминирующих классов наземного покрова и оценкой их возможного перемешивания (Рис. 9).

Далее, после выделения полигональных границ крупных доминирующих классов, где произошло перемешивание, используя набор ТУ (70% от общего набора данных ТУ) были проведены процедуры по вторичной классификации. В результате были получены итоговые карты наземного покрова на территорию республики за 1992 и 2022 гг. (Рис. 9).

Оценка точности тематического картографирования на основе данных ТУ, проводилась с использованием матрицы различий и стандартных показателей точности картографирования (коэффициента Каппа и коэффициента «Общей точности классификации») (Таб. 1).



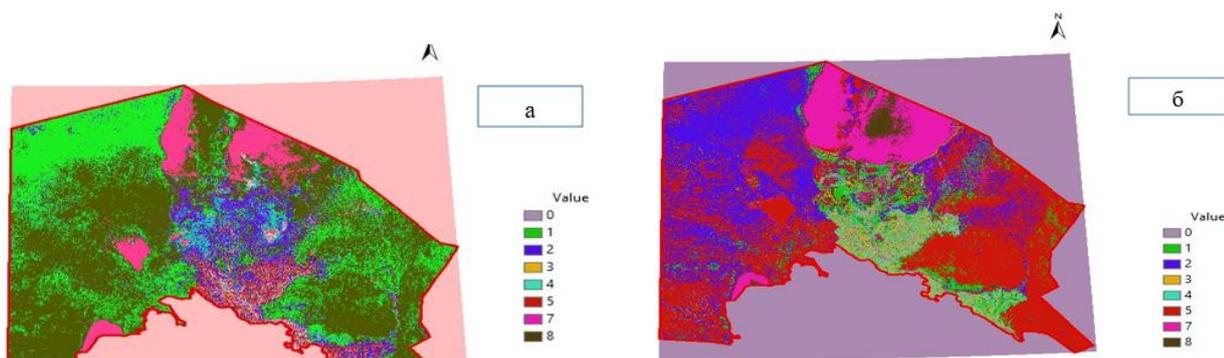


Рисунок 9. Тематические карты после неуправляемой классификации, а) 1992 г б) 2022 г.

Результатов управляемой классификации показаны на Рис.10.

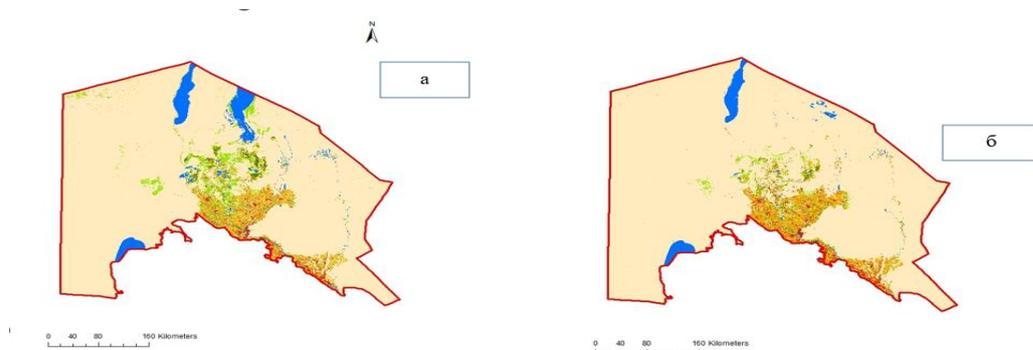


Рисунок 10. Итоги управляемой классификации а) 1992 б) 2022 гг.

Таблица 1. Точность тематического картографирования

Индексы точности	1992	2022
Общая точность классификации	0.64	71%
Каппа Коэффициент	0.68	73%

Экспертная оценка

Дополнительно, была проведена экспертная оценка по имеющимся картам наземного покрова ресурса «Dynamic World V1».

Сопоставление полученных тематических карт 1992 и 2022 гг. было проведено на основе сравнительного анализа полученных тематических карт биорезервата Бадайтугай и заповедника Нурумтубек (Рис. 11).

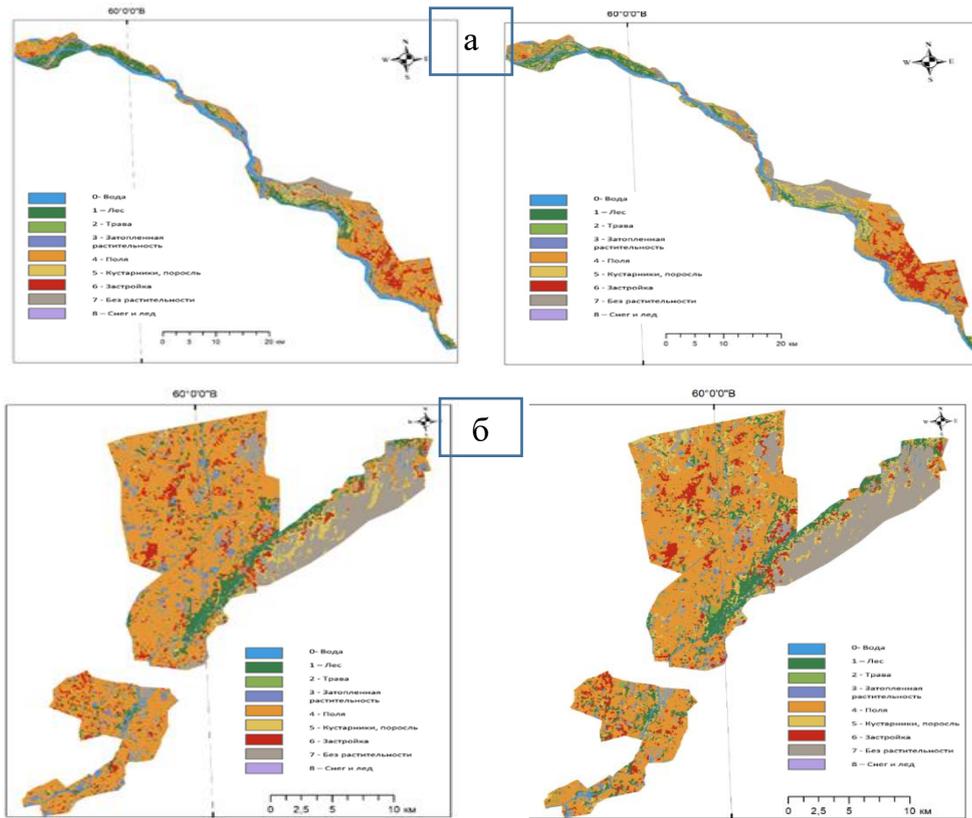


Рисунок 11. Карты динамики наземного покрова, а) биорезервата Бадай тугай, б) заповедника Нурумтубек
Сравнительный анализ фрагмента наземного покрова показан на Рис.12.

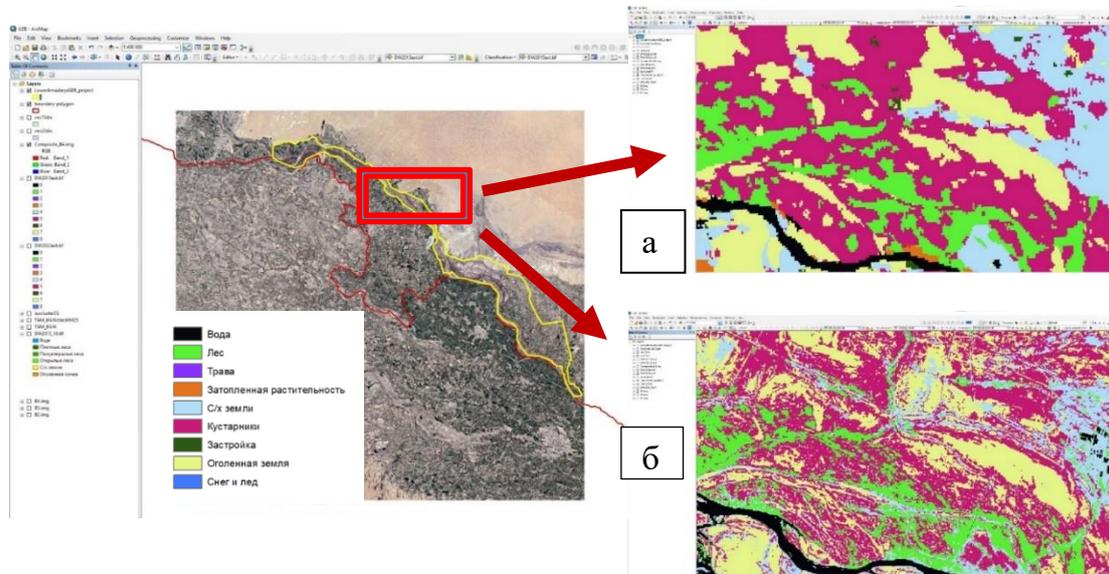


Рисунок 12. а) Фрагмент контрольной карты биорезервата Бадайтугай б) Фрагмент итоговой тематической карты

Таким образом общий сравнительный анализ выявил достаточно высокую степень соответствия полученных карт 1992 и 2022 гг. и данных карт ресурса, что говорит о значительной степени достоверности проведенного тематического картографирования.

По итогам тематического картографирования получены следующие результаты Таб. 2 и Рис. 13.

Таблица 2. Результаты исследования

Класс	1992 (га)	2022 (га)	Динамика (га)
Древесная растительность	217319,9	107249,7	-110070
Кустарники, поросль	762549	406315,4	-356234
Трава	71197,92	21494,61	-49703,3
Сельхозземли	1127619	931645,9	-195973
Населенные пункты	238286,5	299259,3	6097,2
Без растительности	19323645	19028477	-295169
Вода	960665,7	468267,1	-492398,64
Итого	21740618	20794441	-1001052

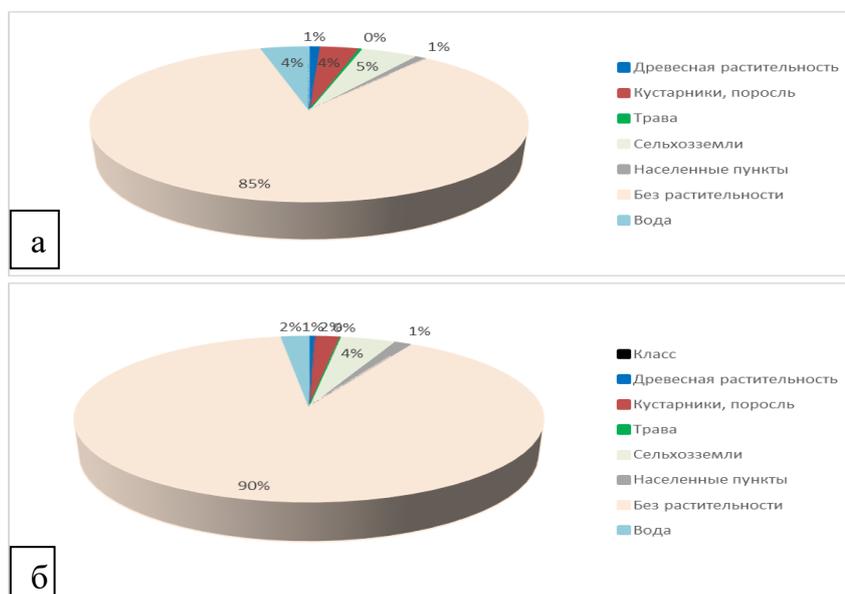


Рисунок 13. Сравнительный анализ динамики площадей, доминирующих классов, а) 1992 и б) 2022 гг.

В целом отрицательная динамика хорошо видна при оценке растительного покрова по данным NDVI на платформе «Google Earth Engine» (Рис. 14).

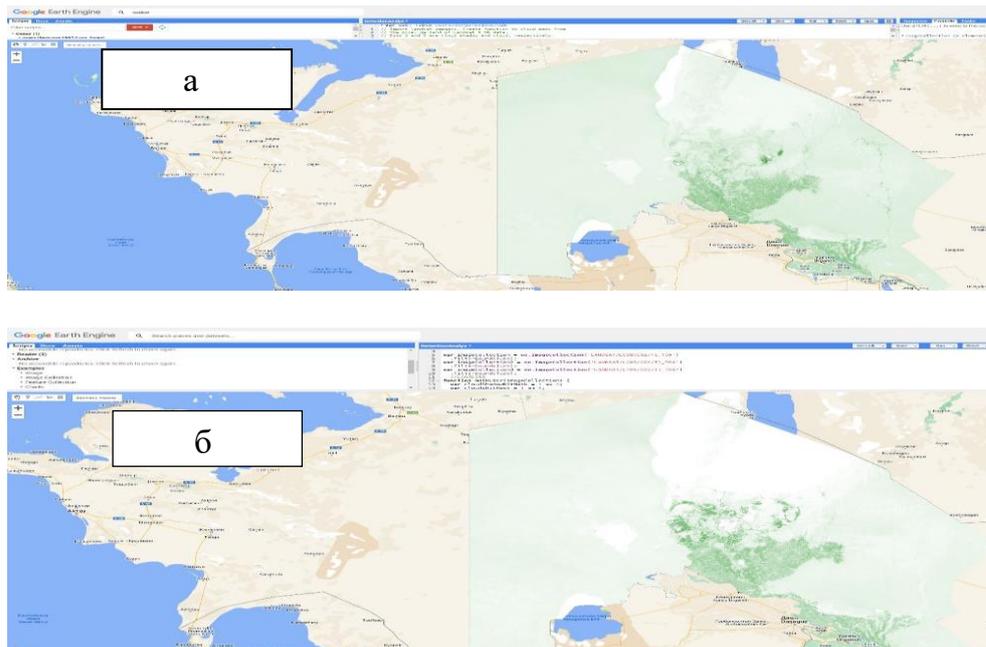


Рисунок 14. Сравнительный анализ динамики значений NDVI на территории исследования, а) 1992 и б) 2022 гг.

ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Растительный покров территории исследования за последние 30 лет претерпел существенные изменения. Древесно-кустарниковая растительность на лесных землях, отдельно кустарники и травянистый покров имели отрицательную тенденцию в динамике развития. Хотя в процентном отношении доля лесных земель не изменилась в абсолютном значении площади сократились на 110 070 га. Доля кустарниковой растительности, играющей важную роль в данном засушливом регионе, уменьшилась с 4 до 2%, или почти на 365 000 га. Травянистый покров изменился не существенно. Уменьшилась доля земель сельскохозяйственного назначения, почти на 200 000 га. Доля площади класса «Без растительности» увеличилась на 5%, но уменьшилась в абсолютных величинах почти на 300000 га. Существенно уменьшилась площадь водных объектов. В первую очередь это связано с усыханием акватории Аральского моря. Единственный класс имеющий тенденцию увеличения - это класс «Населенные пункты». Рост населения, естественно, ведет к росту площадей населенных пунктов. Что и наблюдается по полученным данным. Полученные данные свидетельствуют о крайне неравномерном распределении растительного покрова на территории исследования.

Результаты подтверждают, что площадь растительного покрова на территории исследования имеет тенденцию к

уменьшению вследствие влияния антропогенных и природных факторов на растительность в пределах республики. Это связано с меняющимися климатическими факторами, увеличением засушливых периодов, уменьшением количества осадков, увеличением частоты засух, острой нехватки почвенной влаги, эксплуатацией ирригационных сооружений и существенным увеличением хозяйственной деятельности человека.

РЕКОМЕНДАЦИИ

Для преодоления негативных последствий рекомендуется осуществление мероприятий по комплексной механизации и автоматизации производства в лесных хозяйствах, внедрению в отрасль высокоэффективных ресурсосберегающих технологий. Усиление надзорных функций районных подразделений Инспекции по контролю самовольной порубки деревьев и от иных действий, причиняющих ущерб лесу. Совершенствование системы мониторинга состояния лесов, формирование фонда информационных ресурсов. Результаты исследования могут помочь заинтересованным лицам и организациям в оценке и планировании мероприятий по улучшению условий ведения хозяйственной деятельности предприятий лесного комплекса на основании результатов исследований для усиления мер по защите лесных земель и их постепенного увеличения. В рамках правительственных постановлений Республики Узбекистан и региона Каракалпакстан полученные данные могут служить вспомогательным материалом для проведения мониторинга и инвентаризации структуры и состояния растительного покрова, и лесных территорий Каракалпакстана.

Применяемая технология позволяет с минимальными затратами получать объективные данные в виде картографического и статистических данных для использования их в принятии ответственных решений при мониторинге устойчивости растительных и лесных экосистем.

REFERENCES

1. Б. Т/ Шестой национальный доклад Республики Узбекистан о сохранении биологического разнообразия. – 2018. – С. 235.
2. Максимов М.М. Мониторинг площадей и состояния зеленых зон городов по данным дистанционного зондирования Земли (на примере г. Минска) / М.М. Максимов, А.С. Скачкова // ГИС и природные ресурсы. – 2017. – № 2(81). –С. 22-26.
3. Муталов К. А, Рамазонов Б. Р, Гулматова М. К/



Кейреуковая формация юго-западного Кызылкума// *Журнал биологии и экологии*. – 2020. – Vol. 1. – Issue 3. – P. 35-38. - № 4
<http://dx.doi.org/10.26739/2181-0575-2020-4-6>

4. Постановление Президента Республики Узбекистан от 06.10.2020 г. №ПП-4850 «Об утверждении концепции развития системы лесного хозяйства Республики Узбекистан до 2030 года»

5. Проект ГЭФ/ФАО «Устойчивое управление лесами в горных и долинных районах Узбекистана» <https://www.uzdaily.uz/ru/post/60173>

6. Рамазонов Б. Р/ Природные условия – климат, растения приаральской области// *Science and education scientific journal*. – 2020. – Vol. 1. – Issue 7. – P. 48-58

7. Сулейманова М. Х/ Основы лесоустройства и проектирования защитных лесных полос// *учебное пособие*. – 2017. – страниц 123

8. ФАО источник: Городское и пригородное и пригородное лесное хозяйство Рим, 16–20 июля 2018 года, FO: COFO/2018/5.2

9. Шомуродов Х. Ф., Хасанов Ф. О/ Кормовые растения пустыни Кызылкум// *Аридные экосистемы*. – 2014. -том 20. - №3(60), - с. 94-101