



МРНТИ 39.01.94
Обзорная статья

<https://doi.org/10.32523/2616-6771-2024-147-2-135-149>

Обзор мониторинга лесов в Казахстане на основе наблюдения за Землей

С.Б. Бисенбаева¹, Ш.М. Мелисбек², Е.К. Баймукан³

^{1,2,3}Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан

(E-mail: ¹djusali@mail.ru, ²shapagat1306@mail.ru, ³ernat.mukan@mail.ru)

Аннотация. Лесной фонд Казахстана занимает 5% территории страны, а их площадь составляет 13,6 млн га. Леса в природе выполняют разнообразные функции для природы и общества, а также играют важную роль в выравнивании климата. Изменение климата, проявляющееся в повышении температуры и нынешних экстремальных погодных условиях, оказывает негативное воздействие на здоровье и развитие лесов. За последние пять лет сильная засуха и жара, а также последующее массовое размножение вредителей серьезно повлияли на леса страны. Учитывая нынешние масштабы ущерба лесам и возникающие долгосрочные последствия, усилия по сохранению лесов в Казахстане, а также их разнообразия и продуктивности является незаменимой задачей правительства. На сегодняшний момент активно проводятся лесовосстановительные работы, работы по охране и рациональному использованию лесных ресурсов в Республике Казахстан. Количественные данные являются одним из средств принятия обоснованных решений для обеспечения мониторинга лесов и улучшения мониторинга ущерба лесам. В дополнение к существующим системам мониторинга лесов, таким, как инвентаризация лесов, обследование состояния кроны и инвентаризация лесных почв, систематические исследования состояния и уязвимости лесов в национальном масштабе могут быть расширены с помощью спутниковой системы наблюдения за землей. В этом обзоре мы проанализировали и классифицировали все исследования, опубликованные за последние 20 лет и посвященные дистанционному зондированию лесов в Казахстане.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, наблюдение Земли, лесной фонд, мониторинг леса, деградация леса, Казахстан, обзор.

Введение

Мировой лесной фонд и леса предоставляют чрезвычайно ценные экосистемные услуги и вносят огромный вклад в благосостояние человека. Их вклад можно сгруппировать в обеспечивающие, вспомогательные, регулирующие и культурные услуги [1, 2]. Лесной фонд обеспечивает сырье, такое, как древесина или растительное волокно (строительная древесина, мебельная древесина, бумага, уголь и т.д.), прямые и косвенные продукты питания (травы, фрукты, орехи, мед, грибы, дичь, насекомые и т. д.) и химические вещества и лекарственные средства (скипидар, масла, резинат и т.п.), а также зачастую предоставление доступа к источникам чистой воды. Леса служат средой обитания для флоры и фауны, являются домом для огромного биоразнообразия и способствуют почвообразованию и круговороту питательных веществ. Кроме того, леса способствуют защите земель от эрозии, включают фильтрацию воды и воздуха, удержание воды, а также борьбу с наводнениями и засухой. Держат в балансе изменения климата за счет фиксации углерода в растениях и почвах. Культурный вклад: включают отдых (например, прогулки, походы, езда на велосипеде, верховая езда, катание на беговых лыжах, охота и т. д.), эстетику, экологическое образование и духовные услуги [3].

Казахстан относится к малолесистым странам. Согласно данным Комитета лесного хозяйства и животного мира Министерства экологии, геологии и природных ресурсов, по состоянию на 1 января 2022 г. леса занимают 5% территории страны, а их площадь составляет 13,6 млн га. Почти половина из них приходится на саксаул. В целом благодаря усилиям, направленным за охрану лесов, их восстановление и рациональное использование за последние годы в Казахстане наблюдается тенденция к увеличению лесных массивов.

Большая часть государственного лесного фонда – 74,9 % находится в ведении акиматов областей, в ведении Комитета находится 24,4 %. Площадь государственных лесовладельцев, подчинённых Комитету, составляет 7450,9 тыс. га, из них 7335,9 тыс. га – особо охраняемые природные территории со статусом юридического лица, к которым относятся: 10 государственных природных заповедников; 14 государственных национальных природных парков; 7 государственных природных резерватов.

Наибольший вред лесам наносят лесные пожары, которые могут свести на нет действенность всех, проектируемых лесоустройством и проводимых лесными учреждениями, мероприятий. В 2019 году на территории государственного лесного фонда произошло 628 пожаров, в сравнении с прошлым годом зарегистрирован их рост на 75,4% (2018 г.–358). Материальный ущерб также увеличился в 2,6 раза (2018 г. – 209 млн. 619 тыс. тенге, 2019 г. – 563 млн 509 тыс. тенге), при этом лесная площадь, пройденная пожарами, снизилась в 2,2 раза и составила 73 тыс. 515 га (2018г. – 162 тыс. 611 га) [4, 5, 6].

Особо следует отметить, что разработка научно обоснованной системы по мониторингу и сохранению лесов страны, мероприятий по уменьшению негативных последствий и увеличения продуктивности лесов может быть выполнена на основе использования современных технологий и методов.

Целями данного обзора мониторинга лесов на основе ДЗЗ данных в Казахстане являются:

- представить всестороннее, актуальное и обоснованное на фактах введение о лесах в стране и текущие проблемы;
- представить результаты углубленного обзора и анализа всех исследований, основанных на ДЗЗ, посвященных лесам в Казахстане.

Обзор литературы

За последние пять лет изучение Земли с использованием спутников вступило в новую эру. Принимая во внимание, что в течение многих лет непрерывный, ежедневный или почти ежедневный мониторинг определенной области интересов на нашей Земле мог осуществляться только на основе данных с низким и средним разрешением спутниковых датчиков, таких, как AVHRR (пространственное разрешение от 1 км до 4 км, поскольку в начале 1980-х годов), MODIS (разрешение от 1 км до 250 м с 1999 г.) или MERIS (300 м, доступно только в 2002–2012 гг.), датчики с более высоким разрешением, такие, как бортовые спутники Landsat (пространственное разрешение 30 м), предоставляли только возможность двухнедельного наблюдения, благодаря частоте повторения 16 дней. Запуск Европейским космическим агентством (ESA) европейского спутника данных Sentinel в 2014 году привел к смене парадигмы в отношении возможностей мониторинга на основе ДЗЗ. Основанная на сочетании мультиспектральных датчиков более высокого разрешения, таких, как TM, ETM+ и OLI, на Landsat-5, 7 8 и 9 (30 м), и особенно европейские спутники Sentinel, такие, как Sentinel-2 A и B (разрешение от 10 до 20 м), Sentinel-3 (разрешение 300 м) и датчики с синтезированной апертурой (SAR), такие, как Sentinel-1 A и B (пространственное разрешение от 10 до 20 м).), теперь можно наблюдать за каждым местом на Земле с высоким разрешением почти ежедневно. Помимо этих спутников, существуют также датчики с более высоким разрешением, такие, как Ikonos, Quickbird, Worldview, или микроспутники, подобные тем, которые контролируются корпорацией Planet, теперь можно наблюдать за каждым местом на Земле с высоким разрешением почти ежедневно [7, 8]. Хотя данные SAR (радар с синтезированной апертурой) не зависят от погоды, облачность может быть ограничивающим фактором для пассивных систем дистанционного зондирования. Однако с таким парком датчиков даже в частично облачных регионах средних широт, теперь возможно генерировать информационные продукты с высоким пространственным разрешением и высоким временным разрешением и оптимально с интервалом от недели до месяца.

Наборы данных с более высоким пространственным разрешением и охватом территории позволяют получать информационные продукты о динамике и распределении лесного покрова в масштабах всей страны, а также получать подробные информационные продукты о потере лесов, видовом составе и его изменениях, нарушениях лесов из-за засух, пожары, ураганы и эпидемии, а также восстановление и возобновление роста лесов.

На европейском уровне в течение последнего десятилетия различными способами поощрялось использование спутниковой информации о лесах. Тематическая платформа

лесного хозяйства (Forestry TEP) была разработана в рамках проекта, заключенного по контракту с Европейским космическим агентством (ESA), чтобы обеспечить более эффективное использование данных Copernicus и других данных ДЗЗ в поддержку мониторинга лесных экосистем и устойчивого лесопользования [9].

Система мониторинга земель Copernicus также содержит слой лесного хозяйства высокого разрешения с тремя типами продукции, доступной за 2012 и 2019 годы: плотность древесного покрова, доминирующий тип листвы (лиственные, хвойные и т.д.) и продукт типа леса, соответствующий определению леса Продовольственная и сельскохозяйственная организация (ФАО) [10]. В качестве основного источника входных данных для продуктов использовались данные Sentinel-2, а также данные Landsat 8 в основном [11].

Однако изучение исследований на основе ДЗЗ и геоинформационных продуктов, доступных в Казахстане, показывает, что преобладают местные и региональные исследования и информационные продукты на основе ДЗЗ, и что количественная информация в региональном и даже национальном масштабе генерируется редко. Научно-исследовательские институты по-прежнему используют (если вообще используют) информацию о лесах, полученную с помощью дистанционного зондирования, скорее в экспериментальных целях и не содействуют оперативному мониторингу. Однако здесь кроется исключительный потенциал для проведения своевременных, повторяемых и крупномасштабных оценок, поддерживающих традиционно проводимые оценки на месте.

Методология

Для этого обзора мы собрали все доступные исследовательские публикации по темам, связанные с лесами, исследования с помощью дистанционного зондирования в Казахстане. Поиск литературы проводился на основе библиографической базы данных платформы Web of Science без ограничений по дате публикации, ResearchGate и Google Scholar. Мы рассматривали только научные статьи, опубликованные в рецензируемых журналах. При поиске литературы мы использовали следующие ключевые слова: лес ИЛИ лесной фонд И дистанционное зондирование ИЛИ наблюдение за землей И Казахстан. И нами были выявлены около 122 исследовательских публикаций, посвященных лесам и лесному фонду Казахстана.

Результаты и обсуждение

По данным Национального доклада о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов, леса в Казахстане располагаются крайне неравномерно. Типы лесной растительности обуславливаются разнообразием природных зон. В пустынной зоне произрастают саксауловые леса. Основная часть горных лесов представлена темнохвойными насаждениями Алтая, Джунгарского и Заилийского Алатау. В равнинной части степной и лесостепной зон произрастают березово-осиновые колочные леса, островные сосновые боры, ленточные боры Прииртышья [12].

В составе лесов (рисунок 1) преобладают саксаульники, занимающие 48,9 % покрытой лесом площади и кустарниковые насаждения, расположенные в пустынной и степной зонах и составляющие 23,2%. Наиболее ценные хвойные насаждения занимают 13,6%, мягколиственные — 12,1% и твердолиственные насаждения – 0,8%. По запасам древесины доля саксаульников составляет всего 3,4% (15,03 млн м3) от общего объема запаса древесины основных лесообразующих пород, что обусловлено биологическими особенностями саксаула, отличающегося низкими запасами древесины на 1 га.

В запасе всех основных лесообразующих пород преобладают хвойные древостои – 61,9 % (255,23 млн м3), из них сосняки – 42,3 % (108,03 млн м3), а также мягколиственные – 33,7 % (138,76 млн м3), среди них березняки составляют 21,4 % (91,11 млн м3).

Леса республики выполняют важные климаторегулирующие, средообразующие, поле- и почвозащитные, водоохранные и санитарно-гигиенические функции и являются естественными резерватами 86% биологического разнообразия страны.

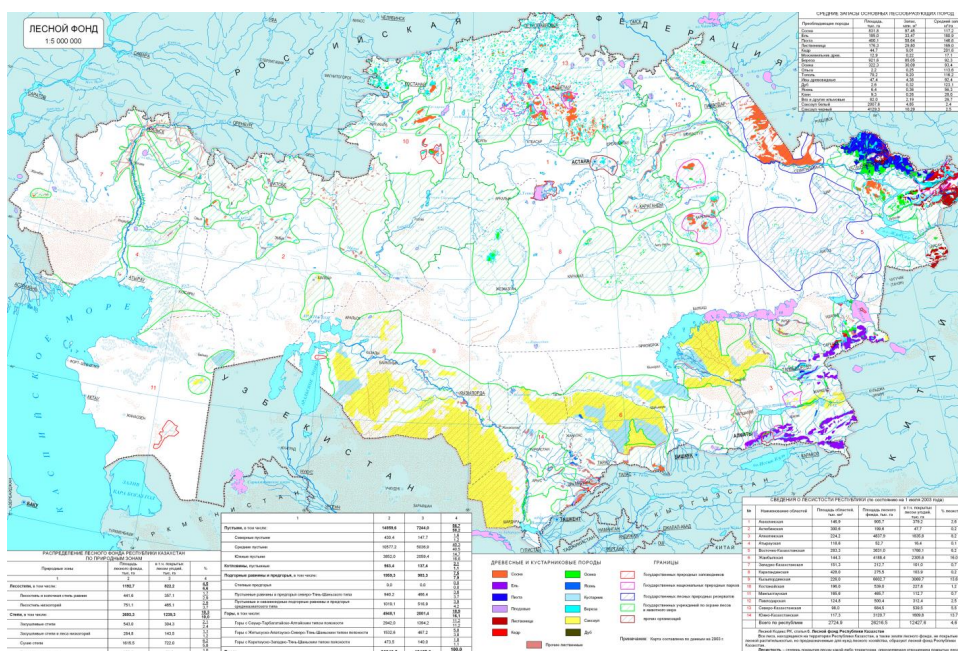


Рисунок 1. Лесной фонд Республики Казахстан [12]

Согласно материалам Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан Бюро национальной статистики (рисунок 2) за 2018-2022 гг., площадь лесного фонда выросла на 2,6%, лесистость за этот период выросла на 0,3 процентных пункта и составила 5%. Но также стоит отметить, что количество лесных пожаров за последние 5 лет увеличилось в 2,2 раза. Так, в 2022 году площадь земель, охваченных пожарами, составила 104 тыс. га [13].



Рисунок 2. Статистика по пожарам лесов по Казахстану [13]

Причинами возникновения лесных пожаров являются природные (неконтролируемые сельскохозяйственные палы) и антропогенные факторы («сухие» грозы). Кроме того, серьезной угрозой лесным ресурсам является периодическое распространение вредителей и болезней леса.

В рамках Парижского соглашения, согласно которому Казахстан взял на себя обязательства по сокращению выбросов парниковых газов до 2030 года на 15%, путем сохранения существующих лесов и создания новых лесных насаждений. В рамках этой инициативы была проведена инвентаризация неучтенных горных лесов Восточно-Казахстанской области; с использованием космических и аэроснимков были определены их границы, породный состав и состояние. В результате этих исследований было выявлено более 67 тыс. га неучтенных горных лесов, которые за последние 30 лет поглотили углерода около 6 млн тонн CO₂-эквивалента.

Также при поддержке Глобального экологического фонда (ГЭФ) ПРООН реализует и другие инициативы с целью сохранения лесов. В рамках партнерства ПРООН-ГЭФ в Казахстане усилия сосредоточены на предотвращении обезлесения и деградации лесов, защиты их от пожаров путем внедрения практики использования современных технологий для мониторинга и оценки рисков возникновения природных и антропогенных угроз.

За последние несколько лет предпринимаемые меры, направленные на защиту лесов Казахстана, уже принесли существенные результаты, поэтому в дальнейших перспективах необходимо уделить особое внимание внедрению новых технологий в долгосрочные стратегии с целью защиты и ускорения процесса улучшения благосостояния лесных экосистем. Благодаря устойчивому управлению, поддержанию их здоровой среды и созданию условий для их естественного возобновляемого процесса, леса продолжают служить важнейшей артерией жизнедеятельности людей и планеты.

С 2018 года Национальный оператор космической системы дистанционного зондирования Земли (АО «НК «Казахстан Гарыш Сапары») приступил к работам по изучению геоинформационных систем для проведения космического мониторинга и лесопользования мира. Площадь занимает менее 5% от общей площади территории.

Актуальные вопросы мониторинга лесных ресурсов: изменение площади лесов, количества рубок, количества гарей, прогноз пожарной опасности лесного покрова и т.д. По результатам космического мониторинга и по данным дистанционного зондирования Земли, подтвержденным также полевыми исследованиями на ключевых участках, впервые в истории расшифрованы все леса Казахстана, созданы цифровые карты лесов Казахстана с подробной атрибутивной информацией вплоть до видового состава лесов, возраста и иная конкретная информация предоставлена ГП «Казахское лесоуправление», выявлено несколько тысяч рубок, в том числе незаконных, также расшифрованы гари и выгружены все данные на промышленный геопортал с актуальной атрибутивной информацией.

На сегодняшний момент на основе данных дистанционного зондирования Земли проводится работа по космическому мониторингу лесных ресурсов Казахстана и разработаны геосервисы для Комитета лесного хозяйства и животного мира Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан. Данные геосервиса представлены на отраслевом геопортале и позволяют Комитету лесного хозяйства и животного мира Министерства экологии и природных ресурсов Республики Казахстан в оперативном режиме получать информацию для эффективной и оперативной работы по управлению, контролю и мониторингу за Государственным лесным фондом Республики Казахстан.

В данный момент существует несколько исследований, связанных с мониторингом и исследованиями лесов в Казахстане с использованием дистанционного зондирования. Однако необходимо учитывать, что с течением времени исследования и технологии могли измениться. Ниже приведены некоторые темы и методы исследований лесов, проведенных с использованием дистанционного зондирования:

1-Картографирование лесных ресурсов:

Использование спутниковых данных для создания карт, которые отображают распределение и состояние лесных ресурсов в Казахстане. Это может включать оценку площади лесов, видового состава и состояния древостоев.

2-Мониторинг лесных пожаров:

Использование спутниковых данных для отслеживания и мониторинга возгораний и лесных пожаров в реальном времени. Это важно для оперативного реагирования на чрезвычайные ситуации.

3-Оценка состояния лесов и деградации:

Использование дистанционного зондирования для оценки состояния лесов, включая деградацию почвы, уровень древесного покрова и потерю лесного покрытия.

4-Изучение биоразнообразия:

Применение данных спутникового зондирования для анализа биоразнообразия в лесах, включая распределение видов и местообитаний.

5-Мониторинг общей площади лесов:

Использование спутниковых данных для оценки изменений в общей площади лесов в течение определенного времени.

6-Оценка антропогенного воздействия на леса:

Использование дистанционного зондирования для оценки влияния человеческой деятельности на лесные экосистемы, включая вырубку деревьев, изменение земельного использования и строительство.

Для получения актуальной и подробной информации о современных исследованиях лесов в Казахстане на основе дистанционного зондирования рекомендуется обратиться к последним публикациям в специализированных научных журналах, а также связаться с учеными, работающими в данной области в Казахстане.

Как уже упоминалось, в ходе исследования было выявлено около 122 исследовательских публикаций, посвященных лесам и лесному фонду Казахстана. И только 21 исследование проводилось с использованием ДЗЗ данных и методов. Большинство исследований было опубликовано в течение последнего десятилетия. Рост числа связан с увеличением доступности данных дистанционного зондирования (например, первый спутник Sentinel в 2014 году). Этот факт также отражен в представлении категории журналов с увеличением количества исследований, опубликованных в журналах, посвященных дистанционному зондированию, в последние годы.

Поскольку мы рассматриваем исследования только в Казахстане, большинство первых авторов – это, в основном, ученые, работающие в казахстанских университетах или исследовательских институтах. Исследования, в основном, проводились в университетах, причем большинство авторов имели опыт работы в области дистанционного зондирования.

Среди них особенно можно выделить следующие публикации, связанные с лесным мониторингом в Казахстане с использованием дистанционного зондирования (ДЗЗ):

– *"Assessment of Forest Resources in Kazakhstan using Remote Sensing Data"* (Оценка лесных ресурсов в Казахстане с использованием данных дистанционного зондирования) [14].

Авторы: А. Otarov, А. Mamutov, А. Erzhanov, и др.

Описание: Исследование по оценке лесных ресурсов в Казахстане с использованием различных методов дистанционного зондирования. В работе оценивается состояние лесов, их распределение и динамика изменений с течением времени.

– *"Monitoring and Assessment of Forest Cover Changes in Kazakhstan"* (Мониторинг и оценка изменений лесного покрова в Казахстане) [15].

Авторы: М. Joldasova, А. Kabikenov, К. Dosmukhamedov и др.

Описание: Исследование по мониторингу и оценке изменений лесного покрова в Казахстане с помощью анализа спутниковых данных. Основное внимание уделяется изменениям в лесном покрове и их влиянию на экосистемы.

– *"Developing the forest fire danger index for the country kazakhstan by using geospatial techniques"* (Разработка индекса пожарной опасности лесов для страны Казахстан с использованием геопространственных методов) [16].

Авторы: S. Babu, G. Kabdulova, G. Kabzhanova.

Описание: Исследование по применению данных дистанционного зондирования для оценки пожароопасности территории, примененный статический индекс вероятности лесных пожаров был разработан с использованием продукта SRTM DEM и MODIS TERRA и продукта типа земельного покрова AQUA (MCD12Q1) для реагирования на пожары и управления ими.

– "Satellite remote sensing for monitoring of the forest resources of Kazakhstan" (Спутниковое дистанционное зондирование для мониторинга лесных ресурсов Казахстана) [17].

Авторы: G Kabdulova, G Kabzhanova, K Baktybekov, и др.

Описание: В статье представлены результаты использования данных ДЗЗ и геоинформационных технологий при оценке лесного покрова Казахстана, законности рубок, оценке площадей гарей и т.д.

Что касается пространственного охвата, большинство исследований было сосредоточено на местном и региональном масштабе. Только шесть из 21 научной работы охватывали лесную площадь Казахстана в целом.

Восемь исследований касались общей площади лесов земель одной или двух областей или конкретного лесного массива. Чаще всего охватывался лесной фонд Восточного Казахстана с ее лесной площадью. Мы нашли около 5 документов о возможностях применении ДЗЗ методов и данных для мониторинга лесных ресурсов.

Заключение

Что касается обзора, мы должны отметить, что некоторые статьи, возможно, не были включены в обзор и потенциально могли содержать дополнительную информацию. Поскольку наш географический фокус сосредоточен только на статьях, имеющих в названных базах, мы могли упустить некоторую информацию, представленную в других источниках. Однако в таком масштабе мы не ожидаем найти много дополнительных деталей или более точных результатов по сравнению с широко используемыми базами. Исследования, охватывающие Центральную Азию, не предоставят углубленных биогеофизических параметров, позволяющих дифференцировать продукты по отношению к стране. Кроме того, анализировались только исследования, опубликованные в рецензируемых журналах, что, в свою очередь, объясняет небольшое количество публикаций. Административный сектор в основном публикует результаты в официальных отчетах, которые не рассматриваются в нашем обзоре, как это обычно бывает со многими другими обзорами научной литературы.

Текущая научная литература по исследованиям леса с помощью дистанционного зондирования в Казахстане предполагает устойчивый рост использования данных, полученных с помощью ДЗЗ, для различных анализов, связанных с лесами. Весьма вероятно, что это связано с увеличением количества и пригодности (с точки зрения пространственного, временного и спектрального разрешения) доступных датчиков и данных ДЗ. Более того, становится все проще получить свободный доступ к данным ДЗ. Грамотность обработки данных также растет.

Недавнее увеличение доступности источников данных ДЗ с высоким пространственным и временным разрешением соответствует наблюдаемому увеличению количества многовременных анализов. С увеличением объема данных возникают новые проблемы с точки зрения хранения и обработки таких данных. Доступен ряд технических решений, многие из которых являются программным обеспечением с открытым исходным кодом, облегчающим анализ больших объемов данных ДЗ. Есть Службы доступа к данным и

информации ЕС Copernicus или Система доступа, обработки и анализа данных наблюдения Земли для мониторинга земель (SEPAL). Ожидается, что этот сдвиг парадигмы в анализе данных ДЗ в сторону анализа временных рядов с высоким разрешением из нескольких источников также изменит применение ДЗ в лесном секторе страны в ближайшие годы. Хотелось бы чтобы институты и университеты при проведении исследований также предоставляли готовые данные в открытом доступе.

Более крупные исследовательские институты и организации часто имеют собственный опыт и вычислительную инфраструктуру, они предоставляют в основном государственным органам или по официальному запросу.

В нашем анализе выделяется тот факт, что на национальном уровне проводится очень мало исследований. Хотя новые типы датчиков и улучшенная доступность данных (бесплатность, достаточно высокое пространственное разрешение, а также частый и полный охват) позволяют осуществлять непрерывный мониторинг всех лесов в Казахстане, представляется, что потенциал ДЗ для мониторинга еще не полностью использован. Объяснением этому может служить довольно сложная институциональная среда в лесном секторе, поскольку фактическое управление лесами обычно осуществляется на региональном или государственном уровне. Другой причиной может быть тот факт, что необходимая инфраструктура обработки или знания о ней для анализа большого количества данных лишь недавно были созданы в научно-исследовательских институтах, университетах и органах государственной власти. Кроме того, все еще существуют многочисленные ограничения информации, полученной с помощью ДЗ, по сравнению с данными, полученными на месте. Когда дело доходит до идентификации определенных видов деревьев, ДЗЗ может либо вообще не предоставить эту информацию, либо не с такой точностью, как данные полевых исследований. С другой стороны, полное и регулярное картирование лесного покрова (а также других параметров, таких, как типы лесов, оценка биомассы, нарушения лесов и т. д.) уже можно было бы выполнить с достаточной степенью точности. Затем это можно было бы дополнить дальнейшими детальными исследованиями (на основе данных наземного зондирования с более высоким разрешением или инвентаризаций на месте).

В Америке, например, дистанционное зондирование является важным источником информации для поддержки управления лесами [18]. Несмотря на то, что выезды на места утомительны, трудоемки и дорогостоящи, они составляют основу инвентаризации лесов, особенно в таких крупных странах, как Соединенные Штаты. Поэтому дистанционное зондирование, особенно с использованием временных рядов свободно доступных спутниковых данных, играет решающую роль в дополнении наземных исследований в этих странах.

Научная деятельность, связанная с лесами, в Казахстане пока еще не тесно связана и не интегрирована в программы инвентаризации лесов. Однако существует также достаточно доказательств того, что дистанционное зондирование способно предоставлять оперативную информацию о лесах на национальном и региональном уровне [5].

Более того, мы ожидаем, что новые возможности откроются, когда в будущем архивы спутниковых данных более высокого разрешения с датчиков, таких, как Ikonos, Quickbird, Worldview или Planet, станут бесплатными.

В целом, за последние несколько лет интерес к использованию дистанционного зондирования для мониторинга лесов возрос. Однако по-прежнему не хватает общенациональных исследований и оценок параметров лесов. Чтобы обеспечить лесоправлению и властям информацию от ДЗЗ, необходимо продолжить разработку надежных методов мониторинга и внедрить их на региональном и государственном уровне.

Благодарность

Научно-исследовательская работа выполнена за счет гранта молодых ученых «Жас галым» Комитета науки МВОН РК по проекту № AP15473166.

Конфликта интересов нет.

Вклад авторов:

Концептуализация, анализ и написание теста – **С.Б. Бисенбаева** и **Ш.М. Мелисбек**; сбор данных и валидация – **Е.Қ. Баймұқан**; подготовка оригинального проекта – **С.Б. Бисенбаева**. Все авторы рассмотрели и согласились с опубликованной версией рукописи.

Список литературы

1. Acharya R.P., Maraseni T., Cockfield G. Global trend of forest ecosystem services valuation – An analysis of publications // *Ecosystem Services*. - 2019. - Vol. 39. - P. 100979. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100979>.
2. Krieger D.J. *The Economic Value of Forest Ecosystem Services: A Review*. Washington: The Wilderness Society. - 2001. –190 p.
3. Ninan K., Inoue M. Valuing forest ecosystem services: What we know and what we don't // *In Valuing Ecosystem Services*; Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing. - 2014. – 464 p.
4. Архипов Е.В., Залесов С.В. Динамика лесных пожаров в Республике Казахстан и их экологические последствия // *Аграрный вестник Урала*. – 2017. – №. 4 (158). – С. 10-15.
5. Мерекеев А., Нурақынов С. Оценка природной пожарной опасности на территории Казахстана с использованием данных ДЗЗ // *Вестник КазНУ. Серия: географическая*. – 2022. – Vol. 65, №. 2. – С. 34-41.
6. Amankeshuly D. et al. Environmental-economic damage from forest fires of the Republic of Kazakhstan // *ISJ Theoretical & Applied Science*. - 2020.- 04 (84). – P. 15-20.
7. Dash J., Ogutu B. O. Recent advances in space-borne optical remote sensing systems for monitoring global terrestrial ecosystems // *Progress in Physical Geography*. – 2016. – Vol. 40, №. 2. – P. 322-351.
8. White J.C., Coops N.C., Wulder M.A., Vastaranta M., Hilker T., Tompalski P. Remote sensing technologies for enhancing forest inventories: A review // *Canadian Journal of Remote Sensing*. – 2016. – Vol. 42, №. 5. – P. 619-641.
9. Forestry Thematic Exploitation Platform (Forestry TEP). Available online: <https://f-tep.com/> (accessed on 26 June 2022).

10. Copernicus Land Monitoring Service—High Resolution Layers—Forests. Available online: <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/forests> (accessed on 26 June 2020).

11. Langanke D.H.T., Ramminger G., Buzzo G., Berndt F. Copernicus Land Monitoring Service—High Resolution Layer Forest: Product Specifications Document. - Copenhagen, Denmark: Copernicus, 2017. – P. 15.

12. Национальный доклад о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов Республики Казахстан за 2020 год. – 2020. [Электронный ресурс]. – URL: <https://ecogofond.kz/orhusskaja-konvencija>

13. Бюро национальной статистики, Экология и статистика. – 2023. [Электронный ресурс]. – URL: <https://stat.gov.kz/ru/news/ekologiya-i-statistika/>

14. Kabdulova G., Kabzhanova G., Baktybekov K., Aimbetov A., Aligazhiyeva L. Satellite remote sensing for monitoring of the forest resources of Kazakhstan //Seventh International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2019). – SPIE, 2019. – Vol. 11174. – P. 40-49.

15. Alipbeki O., Alipbekova C., Sterenharz A., Toleubekova Z., Aliyev M., Mineyev N., Amangaliyev K. A spatiotemporal assessment of land use and land cover changes in peri-urban areas: A case study of Arshaly District, Kazakhstan //Sustainability. – 2020. – Vol. 12, №. 4. – P. 1556.

16. Babu K. V. S., Kabdulova G., Kabzhanova G. Developing the forest fire danger index for the country kazakhstan by using geospatial techniques //J. Environ. Inform. Lett. – 2019. – Vol. 1. – P. 48-59.

17. Kabdulova G., Kabzhanova G., Baktybekov K., Aimbetov A., Aligazhiyeva L. Satellite remote sensing for monitoring of the forest resources of Kazakhstan //Seventh International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2019). – SPIE, 2019. – Vol. 11174. – P. 40-49.

18. Tinkham W.T., Mahoney P.R., Hudak A.T., Domke G.M. Falkowski M.J., Woodall C.W., Smith A-M.S. Applications of the United States Forest Inventory and Analysis dataset: a review and future directions //Canadian Journal of Forest Research. – 2018. – Vol. 48, №. 11. – P. 1251-1268.

С.Б. Бисенбаева, Ш.М. Мелисбек, Е.К. Баймұқан

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

Жерді бақылау негізінде Қазақстандағы орман мониторингіне шолу

Андатпа. Қазақстандағы орман қоры ел аумағының 5%-ын алып жатыр, ал олардың ауданы 13,6 млн га. Табиғаттағы ормандар табиғат пен қоғам үшін сан алуан қызмет атқарады, сонымен қатар климатты теңестіруде маңызды рөл ойнайды. Температураның жоғарылауы мен қазіргі экстремалды ауа-райы жағдайында көрінетін климаттың өзгеруі ормандардың денсаулығы мен дамуына теріс әсер етуде. Соңғы бес жылда қатты қуаңшылық пен жоғарғы ыстық, одан кейін пайда болған зиянкестер елдегі орман алқаптарына айтарлықтай зиянын тигізеді. Орманға келтірілген залалдың қазіргі ауқымын және одан туындайтын ұзақ мерзімді салдарды ескере отырып, Қазақстан ормандарын, сондай-ақ олардың алуан түрлілігі мен өнімділігін сақтау жөніндегі күш-жігер Үкіметтің таптырмас міндеті болып табылады. Бүгінгі таңда Қазақстан Республикасында ормандарды молықтыру жұмыстары, орман қорын қорғау және тиімді пайдалану жұмыстары белсенді жүргізілуде. Сандық деректер орман мониторингін қолдау және орманның зақымдалуын бақылауды жақсарту үшін негізделген шешімдерді қабылдаудың бір құралы болып табылады. Қолданыстағы орман мониторингі жүйелеріне қосымша, мысалы,

орманды түгендеу, олардың денсаулығын зерттеу және орман топырағын түгендеу, ұлттық ауқымдағы ормандардың денсаулығы мен осалдығын жүйелі түрде зерттеуді спутниктік бақылау жүйелері арқылы жақсартуға болады. Бұл шолуда біз Қазақстандағы ормандарды қашықтықтан зондтау бойынша соңғы 20 жыл ішінде жарияланған барлық зерттеулерді талдауға тырыстық.

Түйін сөздер: арақашықтықтан зондтау, Жерді бақылау, орман қоры, орман мониторингі, орманның деградациясы, Қазақстан, шолу

S. Bissenbayeva, Sh. Melysbek, E. Baimukan

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

An overview of forest monitoring in Kazakhstan based on Earth observation

Abstract. The forest fund in Kazakhstan occupies 5% of the country's territory, and its area is 13.6 million hectares. Forests in their natural state fulfil a various function for both natural world and society, and also play an important role in balancing the climate. Climate change, manifested in the increase in temperature and the current extreme weather conditions, has a negative impact on the health and development of forests. Over the past five years, the country has experienced a series of extreme weather events, including prolonged droughts and heatwaves, which have resulted in significant damage to its forests. Considering the current scale of forest damage and the resulting long-term consequences, efforts to preserve forests in Kazakhstan, as well as their diversity and productivity, is an indispensable task of the government. Today, the reforestation, protection, and rational use of forest resources in the Republic of Kazakhstan have been actively pursued. Quantitative data is one of the means of making informed decisions to ensure forest monitoring and improve forest damage monitoring. In addition to existing forest monitoring systems, such as forest inventory, crown condition survey, and forest soil inventory, systematic studies of forest condition and vulnerability on a national scale can be expanded with the help of satellite observation systems. observation is on the ground. In this review, we analyzed and classified all studies published over the last 20 years and devoted to remote sensing of forests in Kazakhstan.

Keywords: remote sensing, Earth observation, forest fund, forest monitoring, forest degradation, Kazakhstan, review

References

1. Acharya R.P., Maraseni T., Cockfield G. Global trend of forest ecosystem services valuation – An analysis of publications // *Ecosystem Services*. - 2019. - Vol. 39. - P. 100979. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100979>.
2. Krieger D.J. *The Economic Value of Forest Ecosystem Services: A Review*. Washington: The Wilderness Society. - 2001. –190 p.
3. Ninan K., Inoue M. Valuing forest ecosystem services: What we know and what we don't // *In Valuing Ecosystem Services*; Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing. - 2014. – 464 p.
4. Arkhipov E.V., Zalesov S.V. Dinamika lesnyh pozharov v Respublike Kazahstan i ih ekologicheskie posledstviya [Dynamics of forest fires in the Republic of Kazakhstan and their environmental consequences] // *Agrarnyj vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals]*. 2017, No. 4 (158), P. 10-15. [in Russian]

5. Merekeev A., Nurakynov S. Ocenka prirodnoj pozharnoj opasnosti na territorii Kazakhstana s ispol'zovaniem dannyh DZZ [Assessment of natural fire danger on the territory of Kazakhstan using remote sensing data] // Vestnik KazNU. Seriya geograficheskaya [Bulletin of KazNU. Geographical series]. 2022, Vol. 65, No. 2, P. 34-41. [in Russian]
6. Amankeshuly D. et al. Environmental-economic damage from forest fires of the Republic of Kazakhstan //ISJ Theoretical & Applied Science. - 2020.- 04 (84). - P. 15-20.
7. Dash J., Ogutu B. O. Recent advances in space-borne optical remote sensing systems for monitoring global terrestrial ecosystems //Progress in Physical Geography. – 2016. – Vol. 40, №. 2. – P. 322-351.
8. White J.C., Coops N.C., Wulder M.A., Vastaranta M., Hilker T., Tompalski P. Remote sensing technologies for enhancing forest inventories: A review //Canadian Journal of Remote Sensing. – 2016. – Vol. 42, №. 5. – P. 619-641.
9. Forestry Thematic Exploitation Platform (Forestry TEP). Available online: <https://f-tep.com/> (accessed on 26 June 2022).
10. Copernicus Land Monitoring Service—High Resolution Layers—Forests. Available online: <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/forests> (accessed on 26 June 2020).
11. Langanke D.H.T., Ramminger G., Buzzo G., Berndt F. Copernicus Land Monitoring Service—High Resolution Layer Forest: Product Specifications Document. - Copenhagen, Denmark: Copernicus, 2017. – P. 15.
12. Nacional'nyj doklad o sostoyanii okruzhayushchej sredy i ob ispol'zovanii prirodnyh resursov Respubliki Kazahstan za 2020 god [National report on the state of the environment and the use of natural resources of the Republic of Kazakhstan for 2020]. Available at: <https://ecogofond.kz/orhusskaja-konvencija> [in Russian] (accessed 01.11.2023)
13. Byuro nacional'noj statistiki, Ekologiya i statistika [The Bureau of National Statistics, Ecology and Statistics]. Available at: <https://stat.gov.kz/ru/news/ekologiya-i-statistika/> [in Russian] (accessed 01.11.2023)
14. Kabdulova G., Kabzhanova G., Baktybekov K., Aimbetov A., Aligazhiyeva L. Satellite remote sensing for monitoring of the forest resources of Kazakhstan //Seventh International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2019). – SPIE, 2019. – Vol. 11174. – P. 40-49.
15. Alipbeki O., Alipbekova C., Sterenharz A., Toleubekova Z., Aliyev M., Mineyev N., Amangaliyev K. A spatiotemporal assessment of land use and land cover changes in peri-urban areas: A case study of Arshaly District, Kazakhstan //Sustainability. – 2020. – Vol. 12, №. 4. – P. 1556.
16. Babu K. V. S., Kabdulova G., Kabzhanova G. Developing the forest fire danger index for the country kazakhstan by using geospatial techniques //J. Environ. Inform. Lett. – 2019. – Vol. 1. – P. 48-59.
17. Kabdulova G., Kabzhanova G., Baktybekov K., Aimbetov A., Aligazhiyeva L. Satellite remote sensing for monitoring of the forest resources of Kazakhstan //Seventh International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2019). – SPIE, 2019. – Vol. 11174. – P. 40-49.
18. Tinkham W.T., Mahoney P.R., Hudak A.T., Domke G.M., Falkowski M.J., Woodall C.W., Smith A-M.S. Applications of the United States Forest Inventory and Analysis dataset: a review and future directions //Canadian Journal of Forest Research. – 2018. – Vol. 48, №. 11. – P. 1251-1268.

Сведения об авторах:

Бисенбаева Саним Бегимовна – PhD, научный сотрудник, постдокторант, факультет географии и природопользования, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан.

Мелисбек Шапагат Мархабаткызы – магистрант, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан.

Баймукан Ернат Кайратулы – магистрант, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан.

Bissenbayeva Sanim – PhD, researcher, postdoctoral fellow, Faculty of Geography and Environmental Management, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Melisbek Shapagat – master's student, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Baymukan Ernat – master's student, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).