АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 2 (91), с. 27-39

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

*UDC 630*261; 630*91*

ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ И МОНИТОРИНГУ СОСТОЯНИЯ ЛЕСОВ В ЗАСУШЛИВЫХ РЕГИОНАХ СУДАНА

© 2022. Н.А.Х. Гадаллах*, **, И.С.А. Таха*, А.И.А. Хано*, **, А.А.Х. Сиддиг*, ****, *****, Хай Цзян Бо*****

**Хартумский университет, факультет лесного хозяйства, кафедра охраны и защиты лесов*
Судан, 11111, г. Хартум, просп. Аль-Гамаа, п/о 321. E-mail: naouofk@gmail.com
***Институт исследований опустынивания и возделывания пустынь Хартумского университета*
Судан, 11111, г. Хартум, просп. Аль-Гамаа, п/о 321
****Министерство сельского хозяйства и природных ресурсов*
Судан, штат Северный Кордофан, г. Эль-обейд
*****Массачусетский университет в Амхерсте, факультет охраны окружающей среды*
США, 01003-9285, Массачусетс, г. Амхерст
******Центр по связям с Африкой, Северо-Западный университет сельского и лесного хозяйства*
Китай, 712100, г. Шэньси, Янлин, Тайчэн Роуд, д. 3

Получена 11.10.2021. После доработки 27.11.2021. Принята к публикации 01.12.2021.

Лесной покров и экологические функции лесных ресурсов неустойчивы в засушливых районах Судана. Надежная и своевременно полученная информация об их текущем статусе является решающей задачей для оценки их социально-экономических и экологических преимуществ в рамках экологической политики страны. А потому это исследование было направлено на разработку систем для оценки и мониторинга древесного покрова лесов, угроз и нарушений, которым они подвержены, а также потребностей и деятельности людей, зависящих от леса и проживающих на территории массива Вад эль-Башир, с целью создания базы данных для планирования и разработки стратегий по управлению лесными ресурсами. В ходе работы использовались наземны и социально-экономические (структурированное анкетирование и интервью при участии ключевых информантов) исследования, а также специальные геолого-геофизические данные (спутниковые снимки за 1988, 2008, 2018 гг.), которые выступали в качестве интегрированных методов оценки и картирования прошлого и текущего состояния лесов и нарушений в них. В результате наземных исследований были обнаружены, а затем географически отмечены участки биотических и абиотических нарушений, включая вредоносную деятельность человека (вырубка леса), которые повлияли на здоровье деревьев и вызвали его ухудшение. Биотическими угрозами стали инвазивные виды (*Acacia nubica*), насекомые-вредители (*Sinoxylon senegalensis*) и лианы, в то время как абиотическое воздействие (ветер) оказалось мягким. С другой стороны, результаты социальных опросов указывают на прямые и косвенные причины обезлесения и деградации лесов. Прямыми являются преобразование лесных угодий в сельскохозяйственные, незаконные вырубки и неконтролируемый выпас скота. Косвенными оказались неправильная реализация лесной политики, увеличение населения, бедность и существующая система землевладения. Геопространственный метод показал значительные изменения в землепользовании/наземном покрове: в 2008 г. лесной покров был значительным и составлял 72.2% по сравнению с 1988 г. (63.8%) и 2018 г. (58%). Кроме того, данные 2018 г. охватывают более обширную площадь сельхозугодий, чем данные за 1988 и 2008 гг., – 38%, 25.9% и 6.1% соответственно. Сделан вывод об эффективности использования указанных методов в качестве общей системы, которая может дать представление обо всех аспектах истинного состояния лесных территорий.

Ключевые слова: оценка и мониторинг лесов, леса засушливых районов, наземные и социально-экономические исследования, угрозы и нарушения лесов, Судан.

DOI: 10.24412/1993-3916-2022-2-27-39

Лесные ресурсы лежат в центре мировых дискуссий об окружающей среде, изменении климата и сохранении биоразнообразия, особенно в таких уязвимых районах, как страны к югу от Сахары,

например, Судан (Ahuja, 2018; Alam, 2013; de Jong et al., 2018; Pawar, Роткар, 2015; Report of the United Nations ..., 1992). Они не только представляют собой многочисленные и одни из самых разнообразных экосистем на планете, но также служат убежищем для многих видов, обеспечивают пропитание и работу для значительной части человеческого населения (The State of World's Forest …, 2018a; Keenan et al., 2015; Parrotta et al., 2016). P.S. Roy с соавторами (2002) рассматривают леса как один из наиболее важных возобновляемых источников для производства древесины, бумаги, угля и топлива, а также других недревесных продуктов. В их исследовании показаны последствия исчезновения лесов, которое может создать ряд серьезных экологических проблем, таких как эрозия почвы, опустынивание, отложение осадков, наводнения и потеря ценных ресурсов для обеспечения жизни людей. Таким образом, нас крайне беспокоит тот факт, что леса Судана сокращаются угрожающе быстро, что, в свою очередь, если не предпринять необходимых действий, может вызвать в стране деградацию земель, эрозию почвы и процессы опустынивания (Global Forest Resources, 2015; Gadallah et al., 2019).

В мире засушливые земли окружают более 11 млрд. га леса, деревья которых, как правило, являются неотъемлемой частью продовольственной системы, поскольку среди них процветают сельскохозяйственные культуры и домашний скот (Trees, Forests ..., 2016; Milton, 2015; Pretzsch, 2005). Листья и плоды таких видов, как *Adansonia digitata* L., 1753 и *Faidherbia albida* (Delile) A.Chev., являются источником пищи для людей и кормом для животных, а потому эти деревья считаются ценными в системах агролесоводства (Amin, Abdalla, 2006; Trees, Forests ..., 2016). Почти 50% Африки заняты засушливыми землями, полностью или частично протянувшимися на территории 15 стран Западной и Центральной Африки и 15 стран Восточной и Южной Африки (Guidelines on ..., 2010). Но на уровне страны больше, чем где бы то ни было еще, лесные ресурсы засушливых районов Судана могут поспособствовать сокращению бедности и обеспечению продовольственной безопасности, если будут должным образом изучены, оценены, подвергнуты тщательному мониторингу и правильному управлению (Adam, Eltayeb, 2016; Guidelines on ..., 2010; Mohamed, 2005). До сих пор о состоянии местных лесов, биотических и абиотических угрозах для них и, что важно, о зависящих от них видах человеческой деятельности в Судане известно крайне мало. Это критический пробел, поскольку устойчивость лесов имеет решающее значение для окружающей среды, а также существования и благополучия миллионов людей, живущих на лесных территориях (Pretzsch, 2005). Более того, установлено, что эффективное использование лесных ресурсов требует планирования и управления на основе полученных о них данных, что само по себе требует актуальной информации о состоянии лесов и распределении факторов, им угрожающих (Achard et al., 2017; Keenan et al., 2015; Khatri et al., 2018; Looyen et al., 1994; MacDicken et al., 2015).

Как правило, для эффективного повышения роли лесов в удовлетворении основных человеческих потребностей очень важно, чтобы учитывалось и изучалось воздействие на них основных факторов беспокойства и изменений, особенно в развивающихся странах, таких как Судан. Во множестве литературных источниках говорится о том, насколько надежная и своевременная информация о состоянии лесных ресурсов важна для их использования, а также для помощи государственным органам и другим заинтересованным сторонам в оценке и мониторинге эффективности ведущейся лесной политики и существующих программ управления (GOFC-GOLD, 2012; Grecchi et al., 2017; MacDicken et al., 2015). И, наоборот, недостаточная информация о состоянии лесов чревата неточной оценкой того, как они используются в стране, затруднениями в планировании лесного хозяйства, заблуждением контролирующих организаций и спонсоров при постановке целей и выборе приоритетных проектов, а также затруднениями при оценке прогресса, достигнутого в направлении устойчивого лесопользования (Köthke et al., 2013; MacDicken et al., 2015; Sunderland et al., 2017; Siddig, 2019). Таким образом, любая оценка и мониторинг лесных экосистем, не учитывающие все существующие аспекты, связанные с лесами, являются неполными.

Во всем мире для оценки и мониторинга лесов применяются разнообразные методы (GOFC-GOLD, 2012; Keenan et al., 2015; Köhl et al., 2006; Looyen et al., 1994; MacDicken, 2015; Mitchard et al., 2011; Mandallaz, 2008; Sunderland et al., 2017). Например, результаты дистанционного зондирования являются ключевым источником информации при мониторинге изменений лесного покрова за последние десятилетия, особенно для Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединённых Наций (ФАО) при оценке лесных ресурсов (Forest Resources Assessment ..., 2015;

Marklund, Schoene, 2006; Nimir, Abdelsalam, 2005). Такая оценка проводится с использованием двух взаимодополняющих подходов: первый основан на статистическом анализе существующих, достоверных учетных данных по лесам разных стран; второй использует многолетние наблюдения за лесным покровом с использованием спутниковых изображений высокого разрешения для статистически выбранных местоположений (Keenan et al., 2015; Roy et al., 2002). Однако эту оценку можно считать единственным возможным способом отслеживать последовательные изменения лесного покрова во времени (Shimabukuro et al., 2014). А потому наше исследование направлено на рассмотрение мелких факторов на местном уровне или в небольших масштабах, таких как лес Вад аль-Башир. Тем не менее, для определения угроз лесам и основных факторов изменения лесного покрова трудно руководствоваться только данными дистанционного зондирования, не собрав при этом информацию о лесе и зависящих от него людях и сообществах, поскольку покров, разнообразие и эко-функции таких лесов постоянно меняются.

В Судане, как и во многих развивающихся странах, не хватает структур и методов для систематической, постоянной, долгосрочной оценки и мониторинга лесов, особенно в засушливых районах. Следовательно, существует необходимость исправить эту ситуацию, чтобы улучшить представления о видовом составе местных лесов, их состоянии, нарушениях, которым они подвергнуты, а также изменениях и тенденциях лесного покрова, чтобы затем планировать эффективное использование, сохранение, восстановление и устойчивое управление лесными ресурсами, что, в свою очередь, поспособствует развитию страны.

Оценка леса с помощью сбора образцов широко привлекает внимание многих авторов и организаций, поскольку она затрагивает измерение таких важных параметров, как изобилие, распределение, состояние, изменение и тенденция лесных ресурсов (Looyen et al., 1994; Roy et al., 2002; Sloan, Sayer, 2015; Sunderland et al., 2017). Существуют различные методы отбора образцов для обследования определенной территории. Они выбираются в соответствии с биофизическими и социально-экономическими характеристиками изучаемой популяции и направлены на уточнение определенных параметров в рамках заданного бюджета (Achard et al., 2017; Ashraf et al., 2017; Bos et al., 2017; Dons et al., 2016). В лесных районах деревья, их состояние и условия произрастания, а также соседство с зависящими от них людьми подпадают под тематическое изучение и оценку как вызывающие наибольшую озабоченность. Однако такие методы по-своему ограничены, а потому желательным и выгодным является только их комплексное применение.

В последнее время ФАО (Case Studies on ..., 2009) рассматривает систематический полевой сбор образцов и дистанционное зондирование основой для сбора данных для последующей оценки и мониторинга лесов, т.к. оба метода дополняют друг друга. Тем не менее, эти методы не включают в себя такие важные вопросы, как изучение потребностей и деятельности людей на лесных территориях. M. Köhl с соавторами (2006) показали, как использовать пробные площадки и социальные исследования для сбора более широкого спектра биофизических и социально-экономических данных посредством измерений, наблюдений и проведением интервью с местными жителями. Дистанционное зондирование служит для сбора геопространственных данных (географическое положение и площадь лесов, изменения в землепользовании), которые невозможно получить при полевых работах, а также помогает повысить качество статистических данных в тех случаях, когда полевые исследования ограничены (Keenan et al., 2015; Schneibel et al., 2017).

Цель нашего исследования – определить и разработать подходящие методы для оценки и мониторинга лесных ресурсов засушливых районов Судана, используя при этом 3 вида данных: биофизические, социально-экономические и географические с использованием трех подходов.

Материалы и методы

Территория исследования. Штат Гедарев занимает 78 тыс. км^2 в Восточном Судане, растянувшись между 33-36° в.д. и 12-15° с.ш. На западе он граничит со штатами Хартум и Гезира, с Кассла на севере, с Сеннеаром на юго-западе. Из всей его популяции, которая в 2008 году составила 1419485 человек, 27% проживают в городах, а 73% являются сельскими жителями. Сельское хозяйство было и по-прежнему остается основной экономической деятельностью региона; следующими по значимости являются разведение домашнего скота, сбор смолы гуммиарабик и торговля лесными ресурсами (Glover, 2005; Hemida, 2016).

Лес Вад аль-Башир расопложен между регионами Эль-Хавата и Эль-Мафаза, в западной части штата (географические координаты: 34° 36′ 36″-34° 37′ 30″ в.д., 13° 30′ 9″-13° 33′ 19″ с.ш.), и покрывает 3468 га. Как показали M.N. Harrison и J.K. Jackson (1958), на карте растительности Судана штат Гедареф находится в зоне лесной саванны на глине, с малым количеством осадком. Лес расположен в месте, где один из главных типов растительности этой зоны переходит в другой, – возле колючих зарослей *Acacia mellifera* (*Senegalia mellifera* (M. Vahl) Seigler & Ebinger) и леса, сформированного *Acacia seyal-Balanites aegyptiaca*. Таким образом, мы выбрали данный район из-за его географического положения в засушливых районах Судана, поскольу он является штатом второго класса (умеренно опустыненный), с некогда достаточно хорошим растительным покровом, который в настоящее время серьезно деградировал в результате нерационального механизированного земледелия, чрезмерной вырубки леса и перевыпаса (Sudan National Action Programme, 2006).

По климату лес Вад эль-Башир находится в полузасушливой зоне с летними дождями и теплой зимой. Осадки здесь имеют одномодальный характер, выпадая в пределах от 400 до 800 мм, при среднегодовом уровне 600 мм (рис. 1), и колеблются между июнем и сентябрем, достигая своего пика в августе (Glover, 2005; Hemida, 2016). Юго-западный муссонный морской ветер, приносящий дожди, дует в районе Гедарефа с мая по октябрь, а затем с ноября по апрель. В районе преобладает северный ветер. Температура очень высокая летом, мягкая зимой. Среднесуточная максимальная температура колеблется от +25°C до +40°C, а среднесуточная минимальная – от +13°C до +20°C (рис. 2). В сезон дождей относительная влажность повышается на 20-70% (Glover, 2005).

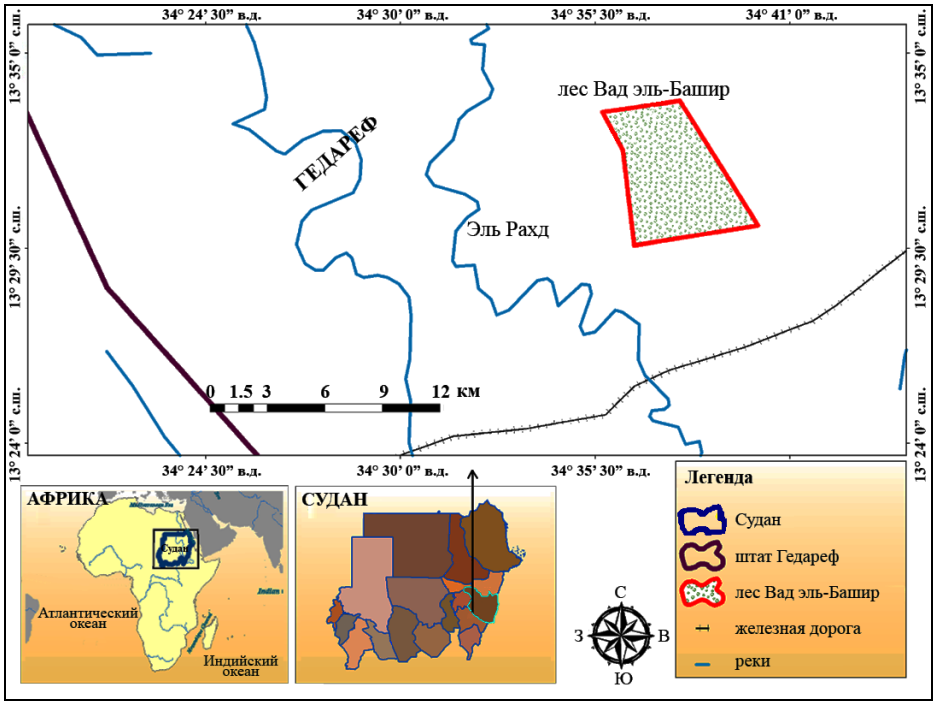

Рис. 1. Территория исследования, лес Вад эль-Башир, юго-запад штата Гедареф в Судане.

Методы исследования. Мы использовали 3 метода для оценки и мониторинга лесов в рамках одной крупной, единообразной и комплексной системы оценки, охватывающей и экологические, и социальные аспекты. Она состоит из трех взаимодополняющих методов оценки лесов: наземных исследований, геопространственных исследований и социальных исследований.

Наземные исследования и оценка. Данный подход в основном предназначен для оценки параметров биофизического состояния леса. Утверждается, что он меняется в зависимости от типов и состояния исследуемого леса (Roy et al., 2002), однако многие виды лесов, такие как засушливые леса Судана, изучены недостаточно. Для подготовки и проектирования пробных гео-площадок использовалось программное обеспечение Map-Source, версия 6.11.5 (Garmin Ltd., Ленекса, Канзас, США) и Arc-Map 10.5 (ESRI, Редлендс, Калифорния, США), после чего участки были посещены непосредственно исследователями. Спроектированные площади имеют круглую (радиус 100 м)

форму, как показано на рисунке 2.

На каждой пробной площадке были учтены типы угроз: вредители, болезни или их симптомы, наличие вырубки, наличие пожаров, наличие выпаса скота, сельскохозяйственная деятельность, наличие шурфов, воздействие ветра, – а также виды деревьев, с и без повреждений, их восстановление, доминирующие виды. Этот метод позволил точно оценить и отобразить текущее состояние леса с 11 по 17 декабря 2017 года, включая присутствующие в нем абиотические и биотические нарушения. Перед проведением анализа собранные путем наземных исследований данные были классифицированы. Угрозы лесам и деревьям отнесены в одну категорию, поскольку влияют на их продуктивность; восстановление и видовое разнообразие – в другую.

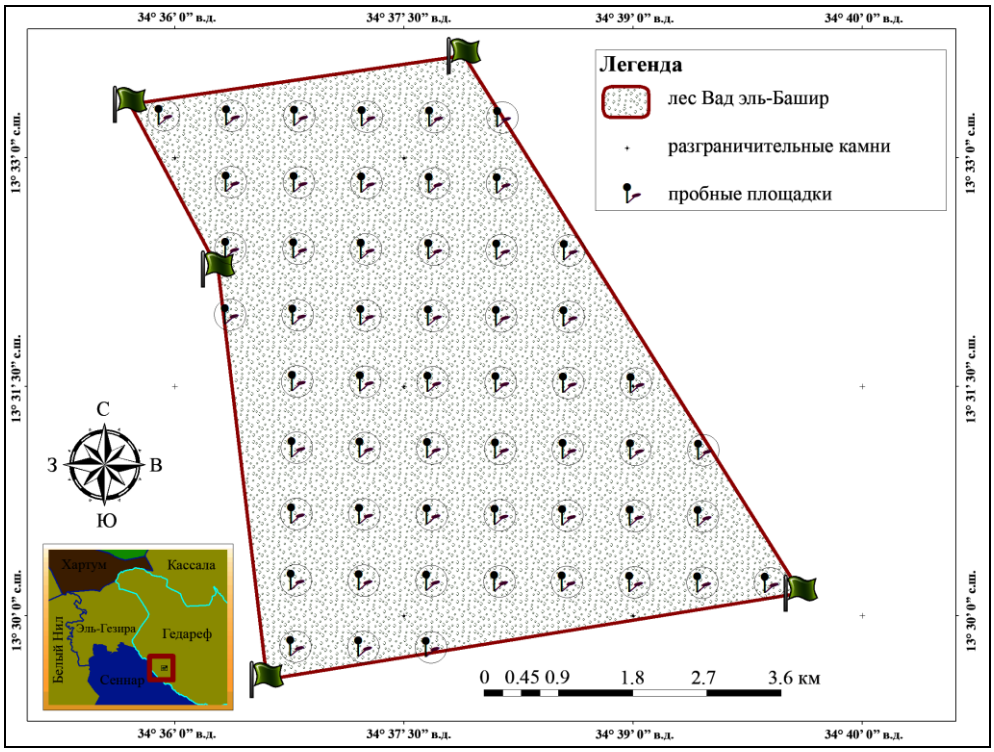

Рис. 2. Система круглых пробных площадок в лесу Вад эль-Башир.

Следовательно, факторы, которые ухудшили состояние леса или его деревьев, были закодированы и получили соответствующие оценки от 0 до 10, где 0 свидетельствует об отсутствии угрозы, 5 – о незначительном ее появлении, а 10 – о сильном воздействии и наличии такого фактора (табл.). Впоследствии наличие и серьезность угроз были географически привязаны к месту и отображены на картах.

Социально-экономическое исследование. Второй подход в нашем исследовании по оценке и мониторингу лесных ресурсов засушливых районов был сосредоточен на людях, зависящих от лесных ресурсов и живущих поблизости от лесов, играющих для них жизненно важную роль. Мы использовали метод социального опроса, с помощью которого провели интервью с 61 респондентом и 5 ключевыми информантами. Данные затем собрали и сделали целенаправленную выборку из лидеров общин, кочевников, фермеров, а также работников лесных хозяйств в качестве ключевых информаторов. Разработанный структурированный вопросник был случайным образом использован для сбора данных среди обычных семей, что помогло нам изучить историю леса Вад аль-Башир с точки зрения его прошлого и нынешнего видового разнообразия, ухудшения или улучшения его состояния, прямых и косвенных причин его обезлесения или деградации, с акцентом на доминирующие причины. В анкете обсуждались не только широко распространенные вредители, но и наиболее эффективные меры для их выведения.

Анализ такого рода данных требует предварительной обработки, после чего они были проанализированы с использованием статистического пакета для социальных наук (Statistical Package

for Social Sciences, версия 25, IBM, Армонк, Нью-Йорк, США) и Microsoft Excel (версия 2016 года – Microsoft, Редмонд, Вашингтон, США). Описательная статистика использовалась для демографических характеристик респондентов, а также для их распределения по различным категориям и комбинациям: тип землепользования, источник дохода, землевладение, получение материальных и нематериальных благ леса, источник используемой энергии и строительных материалов, вымершие виды деревьев, состояние леса, причины обезлесения или деградации. Для каждой категории были подсчитаны частота встречаемости и процентное соотношение.

Таблица. Угрозы лесу и деревьям, их коды и показатели.

№	Факторы беспокойства	Серьезность факторов беспокойства по количеству пострадавших деревьев			
		Код	Отсутствует (0)	Средняя (1-5)	Серьезная (6-10 и выше)
1	сельхоздеятельность	AA	0	5	10
2	незаконная вырубка	IC	0	5	10
3	инвазивные виды	ISpp.	0	5	10
4	выпас домашнего скота	GA	0	5	10
5	лесные пожары	FF	0	5	10
6	ветер	WE	0	5	10
7	лианы	CE	0	5	10
8	насекомые	IE	–	5	10
9	болезни	DE	0	5	10

Геопространственные методы оценки наземного покрова/типа землепользования. Третий метод использует данные дистанционного зондирования, с помощью которых можно отслеживать геопространственные изменения наземного покрова и типов землепользования на нужной территории. Для этого мы воспользовались снимками Landsat, которые были бесплатно загружены с веб-сайта Геологической службы США (United State Geological Survey), колонка 172, ряд 51, пространственное разрешение – 30 м. Спутниковые изображения из Landsat 5 (TM), Landsat 7 (ETM) и Landsat 8 (OLI_TIRS), на которых отсутствовали облака, были загружены для 1988, 2008 и 2018 гг., т.к. десятилетия считаются более репрезентативными для исследования недавних исторических изменений и потенциально более подходящими из-за наличия дополнительных данных за недавний период времени.

Вышеупомянутые снимки были предварительно откалиброваны. Для идентификации классов были проведены геометрическая и атмосферная коррекция, наложение слоев, контрастное растяжение и формирование цветового композита. Для определения классов территории были изучены методы слияния изображений Landsat TM, NDVI для изображений TM, ETM и OLI-TIRS. Классификация по методу максимального подобия (MLC) использовалась для классификации типов землепользования и наземного покрова (LULC) на основе данных спутниковых снимков за 1988, 2008 и 2018 гг. MLC считается наиболее широко используемым алгоритмом параметрической классификации и классификацией LULC (Salih et al., 2017). Этот процесс учитывает спектральные характеристики спутниковых изображений и данные о типах землепользования и наземного покрова изучаемой области, где для определения наземных точек каждого класса использовалось GPS. Большое внимание было направлено на разработку сигнатур из обучающих выборок и спектральной разделимости соответствующих классов. Соответственно, 3 классифицированные категории – это густые леса, сельскохозяйственные угодья и бесплодные земли.

Результаты и обсуждение

Текущее биофизическое состояние леса Вад аль-Башир и его древостоя. Основополагающим компонентом любой лесной территории являются деревья (Chazdon et al., 2016; Global Forest Resources, 2010; The State of World's Forest …, 2018b). Район нашего исследования, как показано на рисунке 3, особенно богат видами деревьев, которые распространены в лесной зоне. Высокий

уровень обилия и частоты встречаемости видов на пробных площадках оценивается следующим образом: *Vachellia seyal* (Delile) P.J.H.Hurter – доминирующая порода, затем идут *Acacia senegal* (L.) Willd., 1806, *Acacia mellifera* (M. Vahl) Benth. и наименее распространенный *Balanites aegyptiaca* (L.) Delile, 1812 (рис. 3). По данными M.N. Harrison с J.K. Jackson (1958), известно, что перечисленные виды наиболее приспособлены к условиям данной местности.

Однако такое низкое богатство и дефицит видов указывают на необходимость создания будущих стратегий развития и управления лесами, которые в том числе включают мероприятия по проведению облесения (Gafaar, 2011; Harrison, Jackson, 1958). С другой стороны, угрозы и нарушения леса, а также их масштабы продемонстрированы на круговой диаграмме для каждой контрольной площадки нашей выборки (рис. 4). Мы считаем, что географическая привязка каждой угрозы или фактора беспокойства непосредственно к месту, где они были обнаружены, упрощает доступность управления пострадавшими частями леса в любой необходимый момент. Мы предлагаем использовать эти площадки в качестве постоянных для проведения любых мероприятий по управлению, охране и сохранению лесов, а также для дальнейших исследований и мониторинга в ближайшие годы. Таким образом, систематическая оценка и мониторинг состояния лесов могут сильно помочь долгосрочному планированию, количественной и качественной оценке последствий нарушений в лесах, а также устранению неточностей в исследованиях (Siddig, 2019; Hasoba et al., 2020). Однако такой метод мониторинга, несмотря на его важность для управления, сохранения и развития лесов, зачастую игнорируется в лесистых территориях Судана. А во многих случаях отсутствует даже основная информация о площади и типе уже существующих лесов.

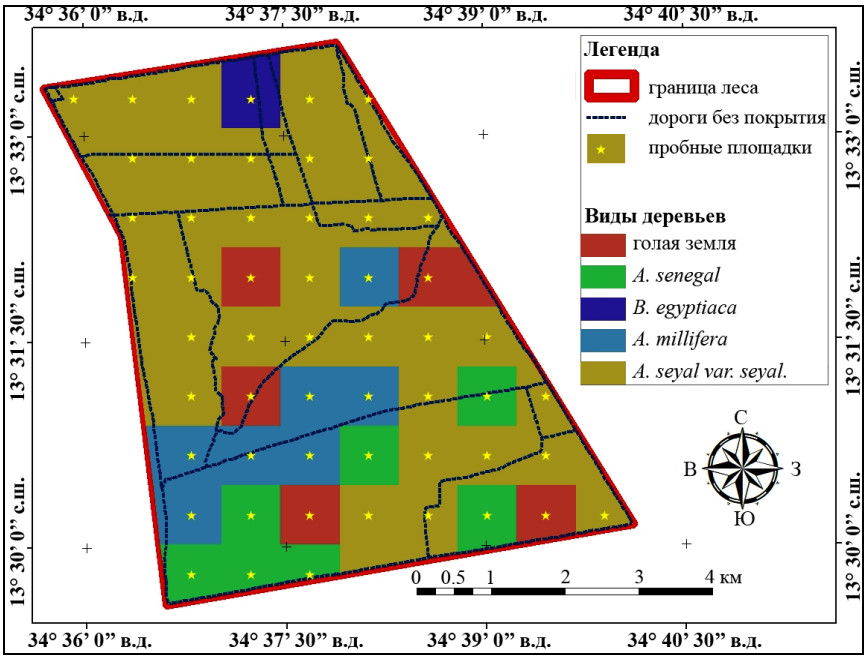

Рис. 3. Распределение доминантных древесных видов в лесу Вад эль-Башир.

Более того, угрозы для лесов и факторы беспокойства считаются естественной и неотъемлемой частью существования лесных экосистем (Curtis et al., 2018; Tegegne et al., 2016). Однако когда они превышают свой привычный диапазон, их воздействие на лесные экосистемы может чрезвычайно сильно сказаться на всем ландшафте в целом, что приведет к масштабной гибели деревьев и полному уничтожению подлеска (Beverly et al., 2011). Таким образом, наземное обследование территории выявило множество нарушений и угроз, которые ухудшали состояние древостоя. С одной стороны, на этот лес оказала огромное влияние человеческая деятельность, серьезный ущерб от которой показан на рисунке 4. Например, незаконная вырубка деревьев (IC), необходимая для удовлетворения бытовых нужд, шла по всей территории леса; за ней последовали сельскохозяйственная деятельность (AA) и неконтролируемый выпас (GA). Невозможность использовать землю под разведение сельхозкультур, устойчивый рост населения наряду с его спросом на дары леса и источники энергии

считаются движущей силой продолжающегося сокращения лесного покрова. С другой стороны, воздействие вредителей, болезней, лиан и инвазивных видов оказалось достаточно умеренным и не сыграло заметной роли в деградации лесов. Равно как и влияние абиотических нарушений, например, ветра, не стало серьезным и повлияло только на старые деревья, что может быть связано с приспособляемостью местных деревьев к столь суровым условиям и окружающей среде (Harrison, Jackson, 1958). В заключение следует отметить, что, несмотря на суровость условий, которым подвержена эта территория, именно местные сообщества людей, зависящие от леса, оказывают на него основное влияние.

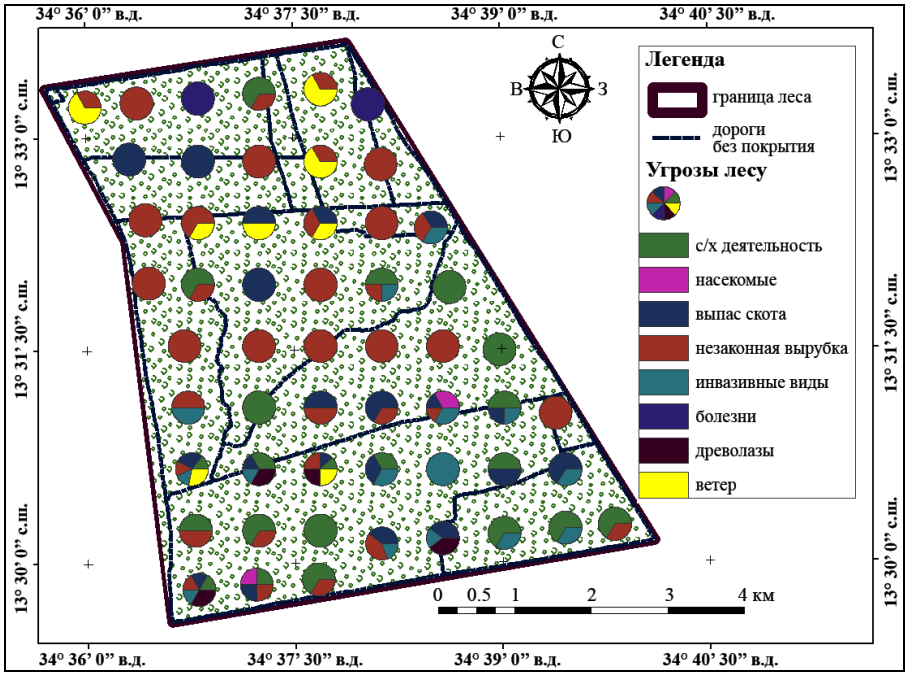

Рис. 4. Распределение нарушений и угроз для деревьев в лесу Вад эль-Башир.

Состояние лесов и социально-экономическая деятельность зависящих от леса людей. Жители данного района в основном были земледельцами, скотоводами и собирателями даров леса. Таким образом, их средства к существованию в значительной степени зависят от лесных ресурсов, а потому управление лесным хозяйством должно отвечать их многочисленным и разнообразным потребностям. А значит, учет деятельности и потребностей людей, живущих в лесах и от них зависящих, является важным шагом на пути к устойчивому управлению лесными ресурсами (Ahmed, 2010; Biswas, Choudhury, 2014; Kobbail, Elfeel, 2012; Udeagha et al., 2016). Результаты социально-экономического исследования подтвердили факт деградации лесов. Например, в последнее время лес Вад эль-Башир пострадал от серьезного обезлесения и деградации, вызванных многочисленной социальной и экономической деятельностью. В связи с этим обширные площади были вырублены и превращены в фермы ради их плодородных почв. Другие факторы, такие как заготовка леса на растопку и строительные материалы, также влияют на деградацию лесов. Дрова и древесный уголь составляют 56.5% от всех источников энергии, которыми пользуются жители в районе исследования, и в основном добываются именно из Вад эль-Башира (рис. 5). К тому же из-за нехватки угодий для ведения сельского хозяйства большинство фермеров переселяется в леса, и, как показал опрос, 60% респондентов признались в использовании лесных ресурсов. Кроме того, в сезон дождей стада домашнего скота остаются без пастбищ, т.к. все возможные пастбищные пути заняты сельскохозяйственными пашнями. А потому, эти животные, особенно козы и верблюды, вынуждены добывать пищу в лесу, что также делает их зависимыми от него.

Более того, местные органы управления лесным хозяйством прибегли к системе Таунгья (Taungya), при которой жители получают право выращивать сельскохозяйственные культуры на ранних этапах создания лесных насаждений, чтобы восстановить деградированные и вырубленные

участки леса, что, безусловно, очень вдохновляет. Однако при этом система положила начало многим проблемам, из-за которых сельхозугодья на долгие годы лишаются деревьев. Ее можно было бы воплотить в жизнь гораздо эффективнее, если бы лесное законодательство и соответствующие штрафы применялись более тщательно. В целом жители, зависящие от лесных территорий, воздействуют на лес как положительно, так и отрицательно.

Рис. 5. Процентное соотношение информации от респондентов и различного использования ими лесных угодий – а), их источников энергии – б), их рабочих мест – в), различных причин деградации лесов – г).

Временное состояние лесного покрова, его изменения и тенденции. Как неоднократно сообщалось, изменения в землепользовании/наземном покрове могут произойти в любой момент из-за множества факторов, таких как вырубка лесов, наводнения, эрозия почвы, незапланированное расширение городов и сельскохозяйственных угодий (Arfat, 2010; Aronoff, 2005; Joshi et al., 2015). Тем не менее, различные экологические, политические, демографические и социально-экономические условия играют основополагающую роль в таких изменениях (Gadallah, 2018; Glover, 2005; Hlanganayi, 2013; Hosonuma et al., 2012). Эти условия часто различаются в зависимости от места и оказывают прямое и постоянное влияние на землепользование/наземный покров (Gadallah et al., 2019). В нашем исследовании показано, что за период работы (1988-2018 гг.) землепользование/наземный покров претерпели значительные изменения из-за человеческого фактора и иных факторов, связанных с окружающей средой (рис. 6). По сравнению с 1988 годом, когда площадь леса составляла 63.8%, и с 2018 годом, когда она равнялась 58%, в 2008 году площадь заметно увеличилась – 72.2%. Средние годовые потери лесного покрова за означенный период составили 0.87%. Соответственно, в 2018 году площади сельскохозяйственных угодий были более обширны (38%), чем в 1988 и 2008 гг. – 25.9% и 6.1% соответственно. Эти данные позволят нам прогнозировать и моделировать тенденции любых последующих изменений.

Чем лучше полученная информация, тем лучше системы мониторинга и планирование управления лесами. Хотя системы для оценки и мониторинга лесов являются ориентиром для устойчивого управления их ресурсами на местном и национальном уровнях, в развивающихся странах трудно осуществить их внедрение из-за отсутствия адекватных технических и операционных возможностей (Sanchez, Hernandez, 2018). Согласно методологии, предложенной в GOFC-GOLD (2012), основные требования к данным системам – это оценка изменений по всей лесистой площади, с использованием последовательных методов на близко расположенных участках территории для получения точных результатов, с последующей проверкой результатов с помощью наземных исследований. Следовательно, единственным практическим подходом к таким системам мониторинга является интерпретация данных дистанционного зондирования, которые поддерживаются и наземными исследованиями. Например, для оценки деятельности на национальном уровне во многих странах используются полевые исследования и методы учета (Achard et al., 2017). Однако Межправительственная группа экспертов по изменению климата (IPCC) и Программа ООН по сокращению выбросов в результате обезлесения и деградации лесов (REDD+) рекомендуют

использовать спутниковые наблюдения (в сочетании с полевыми для уточнения и проверки данных) для последовательного и эффективного мониторинга изменения площади лесов во многих развивающихся странах, а особенно в странах с ограниченной информацией за прошедшие периоды (GOFC-GOLD, 2012; Sanchez, Hernandez, 2018). Более того, S. Higman с соавторами (2005) предложили процедуру мониторинга в лесах, которая соответствует масштабу и интенсивности любого режима лесопользования, и, таким образом, частота и интенсивность мониторинга должны определяться масштабом, интенсивностью и сложностью изучаемого леса.

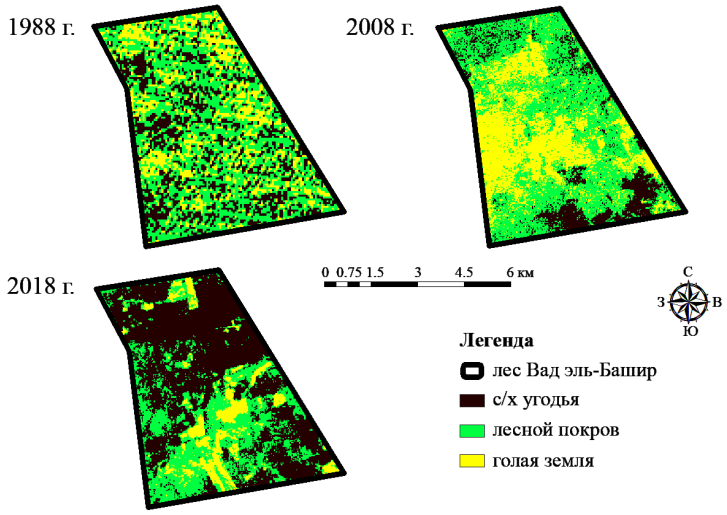

Рис. 6. Классы землепользования и наземного покрова (LULC) для леса Вад эль-Башир в 1988, 2008 и 2018 гг.

Исходя из отчетов ФАО и Суданской национальной лесной корпорации (Sudan National Forest Corporation), оценка лесных ресурсов, как правило, основана вовсе не на оценке лесного покрова или расчете заповедной площади (Global Forest Resources, 2010; The Land Cover Atlas of Sudan, 2012; Sudan National Action Programme, 2006), из-за чего, несомненно, не получается отображать истинное состояние лесов. Это стало одной из причин, которые побудили нас продемонстрировать недорогие и своевременные эффективные методы для оценки и мониторинга состояния лесов в Судане, с использованием данных дистанционного зондирования (находящихся в открытом доступе), наземного обследования лесов и социально-экономических опросов (рис. 7). Таким образом, эффективный подход имеет решающее значение там, где он помогает решать социальные и экономические вопросы, важные для планов и стратегий по управлению лесными ресурсами (Tewari, 2016).

Выводы

Ресурсы лесов в засушливых районах Судана играют важную экологическую и социально-экономическую роль, внося значительный вклад в сохранение биоразнообразия, жизнь людей, сокращение нищеты и обеспечение продовольствием. Однако их устойчивость требует геостатистических знаний, а также понимания биотических и абиотических угроз для лесов, величины лесного покрова и тенденции его изменений, с учетом той человеческой деятельности и потребностей, которые зависят от лесов. Следовательно, важнейшая информация, которая необходима в отношении лесных ресурсов, состоит из характеристики средств к существованию жителей, зависящих от леса, критических угроз, причин деградации лесов, местоположения, площади и состояния изменения лесного покрова в пространстве и времени. Эта информация должна быть практически и экономически обоснована, эффективна, а также своевременно обновляться, будучи точно привязанной к конкретному месту.

Надежная и своевременная информация о лесных ресурсах засушливых районов Судана имеет решающее значение для изучения получаемых от них материальных и нематериальных выгод. Таким образом, наше исследование было направлено на разработку систем для оценки и мониторинга, которые являются своевременными и эффективными с точки зрения затрат и результат которых визуально заметен. В качестве модельной территории был использован лес Вад эль-Башир с целью создания базы данных, которая может быть использована в планировании и стратегиях управления лесными ресурсами. Наземные обследования, социально-экономические исследования и геопространственные методики позволили нам изучить, оценить и нанести на карту актуальное состояние, угрозы, потребности и изменения в данной области. Мы пришли к выводу, что эффективность использования такого комплексного методологического подхода позволит нам описать сразу все аспекты, связанные с лесами. Поэтому мы рекомендуем использовать его для

оценки и мониторинга всех лесных массивов Судана в целом и засушливых земель в частности.

Рис. 7. Схема предлагаемой системы для оценки и мониторинга засушливых лесов Судана.

Благодарности и Финансирование. Насрадин Адам Хамед Гадаллах выражает благодарность Министерству высшего образования и научных исследований Судана за финансовую поддержку его магистерского проекта, выполненного в Хартумском университете при Институте исследований опустынивания и возделывания пустынь. Кроме того, я выражаю благодарность Суданской национальной лесной корпорации штата Гедареф за ее ценную помощь и содействие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Achard F., Maria Y., Oliveira M.De., Mollicone D. 2017. Monitoring Forest Cover and Deforestation // Handbook on Remote Sensing for Agricultural Statistics. GSARS Handbook: Rome. 185-215 p.

Adam Y.O., Eltayeb A.M. 2016. Forestry Decentralization and Poverty Alleviation: A Review // Forest Policy and Economics. Vol. 73. P. 300-307.

Ahmed F.M. 2010. Community Based Sustainable Management of El Ain Natural Forests in the Sudan. Sudan: University of Khartoum. 133 p.

Ahuja M.R. 2018. Biodiversity and Conservation of Woody Plants. 1st ed. Springer International Publishing. 523 p.

Alam S.A. 2013. Carbon Stock, Greenhouse Gas Emissions and Water Balance of Sudanese Savannah Woodlands in Relation to Climate Change // Tropical Forestry Reports. 65 p.

Arfat Y. 2010. Land Use/Land Cover Change Detection and Quantification – A Case Study in Eastern Sudan, Lund University. 61 p.

Aronoff S. 2005. Remote Sensing for GIS Managers. 1st ed. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data. USA, California. 487 p.

Ashraf J., Pandey R., de Jong W. 2018. Assessment of Bio-Physical, Social and Economic Drivers for Forest Transition in Asia-Pacific Region // Forest Policy and Economics. Vol. 76. P. 35-44.

Biswas S.R., Choudhury J.K. 2014. Forests and Forest Management Practices in Bangladesh: The Question of Sustainability // International Forestry Review. Vol. 9. No. 2. P. 627-640.

Chazdon R.L., Brancalion P.S., Laestadius L., Bennett-Curry A., Buckingham K., Kumar C., Moll-Rocek J., Vieira I.C.G., Wilson S.J. 2016. When is a Forest a Forest? Forest Concepts and Definitions in the Era of Forest and Landscape Restoration // Ambio. Vol. 45. No. 5. P. 538-550.

Curtis P.G., Slay C.M., Harris N.L., Tyukavina A., Hansen M.C. 2018. Classifying Drivers of Global Forest Loss // Science. Vol. 361. P. 1108-1111.

De Jong W., Pokorny B., Katila P., Galloway G., Pacheco P. 2018. Community Forestry and the Sustainable

Development Goals: A Two Way Street // Forests. Vol. 9. No. 6. P. 331.

Dons K., Bhattarai S., Meilby H., Smith-Hall C., Panduro T.E. 2016. Indirect Approach for Estimation of Forest Degradation in Non-intact Dry Forest: Modeling Biomass Loss with Tweedy Distributions // Carbon Balance and Management. Vol. 11. No. 1. P. 14.

Forest Resources Assessment: Terms and Definitions. 2015. No. 180. Rome: FAO/FRA. 31 p.

The State of World's Forest: To Sustainable Development Forest Pathways Food. 2018a. Rome: FAO. 139 p.

The State of World's Forest: Food and Agriculture Organization of United Nations. 2018b. Rome: FAO. 80 p.

Trees, Forests and Land Use in Drylands. 2016. The First Global Assessment. Rome: FAO. 204 p.

The Land Cover Atlas of Sudan. 2012. Rome: FAO. 55 p.

Global Forest Resources. 2015. Country Report. Sudan. Rome: FAO. 2014. 107 p.

Guidelines on sustainable forest management in drylands of sub-Saharan Africa: 2010. // Arid Zone Forests and Forestry. Working Paper. No. 1. FAO. Rome, Italy. 47 p.

Case Studies on Measuring and Assessing Forest Degradation. 2009. Measuring and Monitoring Forest Degradation Through National Forest Monitoring Assessment (NFMA) / Reds. R. Tavani, M. Saket, M. Piazza, A. Branthomme, D. Altrell. Working paper No. 172. Rome, Italy. 19 p.

Gadallah N.A.H. 2018. Assessment of Sudan Forest Management Policies and Practices in Relation to Deforestation and Forest Degradation Drivers in Tozi and Wad Al-Bashir Forests. Nigeria: Pan African University, Life and Earth Sciences Institute. [Электронный ресурс https://yandex.ru/search/?lr=213&clid=2224313&text=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fpublication%2F349627808_ASSESSMENT_OF_SUDAN_FOREST_MANAGEMENT_POLICIES_AND_PRACTICES_IN_RELATION_TO_DEFORESTATION_AND_FOREST_DEGRADATION_DRIVERS_IN_TOZI_AND_WAD_AL-BASHIR_FORESTS (дата обращения 01.10.2021)].

Gadallah N.A.H., Adewole N.A., Ajayi D.D. 2019. Potential of Agroforestry as Forest Landscape Restoration Tool to Solve Forest Cover Loss Cum Food Security in Sennar and Gedaref States, Sudan // International Journal of Sustainable Development. Vol. 8. No. 2. P. 199-210.

Gafaar A. 2011. Forest Plantations and Woodlots in Sudan. Nairobi, Kenya. 74 p.

Glover E.K. 2005. Tropical Dryland Rehabilitation: Case Study on Participatory Forest Management in Gedaref, Sudan. Helsinki: University of Helsinki. 183 p.

GOFC-GOLD. 2012. A Sourcebook of Methods and Procedures for Monitoring and Reporting Anthropogenic Greenhouse Gas Emissions and Removals Associated with Deforestation, Gains and Losses of Carbon Stocks in Forests Remaining Forests, and Forestation. Netherlands: GOFC-GOLD Land Cover Project Office, Wageningen University. 219 p.

Grecchi C.R., Beuchle R., Edemir Y., Aragão L.E.O.C., Araib E., Simonettia D., Achard F. 2018. An Integrated Remote Sensing and GIS Approach for Monitoring Areas Affected by Selective Logging: A Case Study in Northern Mato Grosso, Brazilian Amazon // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. Vol. 61. P. 70-80.

Hasoba A.M., Siddig A.A., Yagoub Y.E. 2020. Exploring Tree Diversity and Stand Structure of Savanna Woodlands in Southeastern Sudan // Journal of Arid Land. Vol. 12. No. 4. P. 609-617.

Harrison M.N., Jackson J.K. 1958. Ecological Classification of Vegetation. The Sudan Agricultural Publications Committee, Khartoum, Sudan. 45 p.

Hemida M.A.A. 2016. Contribution of Farm Trees to Farmers' Rural Livelihoods in Gedaref State, Sudan. Northern Africa: University of Khartoum. 53 p.

Higman S., Mayers J., Bass S., Judd N., Nussbaum R. 2005. The Sustainable Forestry Handbook: A Practical Guide for Tropical Forest Managers on Implementing New Standards. 2nd ed. London: Earthscan. 352 p.

Hlanganayi A. 2013. Deforestation in Chipuriro Lands (Guruve), Socio-Economic Factors and Patterns. South Africa: University of South Africa. 120 p.

Hosonuma N., Herold M., De Sy V., De Fries R.S., Brockhaus M., Verchot L., Angelsen A., Romijn E. 2012. An Assessment of Deforestation and Forest Degradation Drivers in Developing Countries // Environmental Research Letters. Vol. 7. P. 1-12.

Joshi N., Mitchard E.T.A., Woo N., Torres J., Moll-Rocek J., Ehammer A., Collins M., Jepsen M.R., Fensholt R. 2015. Mapping Dynamics of Deforestation and Forest Degradation in Tropical Forests Using Radar Satellite Data // Environmental Research Letters. Vol. 10. P. 34014.

Keenan R.J., Reams G.A., Achard F., de Freitas J. V., Grainger A., Lindquist E. 2015. Dynamics of Global Forest Area: Results from the FAO Global Forest Resources Assessment // Forest Ecology and Management. Vol. 352. P. 9-20.

Khatri D.B., Marquardt K., Pain A., Ojha H. 2018. Shifting Regimes of Management and Uses of Forests: What Might REDD+ Implementation Mean for Community Forestry? Evidence from Nepal // Forest Policy and Economics. Vol. 92. P. 1-10.

Kobbail A.A.R., Elfeel A.A. 2012. Local Communities Involvement in Forest Policy Implementation: Case from Sudan // Asian Journal of Agriculture. Vol. 4. P. 140-144.

Köhl M., Magnussen S.M., Marchetti M. 2006. Sampling Methods, Remote Sensing and GIS Multi Resource Forest

Inventory. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 373 p.
Köthke M., Leischner B., Elsasser P. 2013. Uniform Global Deforestation Patterns – An Empirical Analysis // Forest Policy and Economics. Vol. 28. P. 23-37.
Looyen W.J., Zeppenfeldt F.O., Venema J.C., van der Burg G. 1994. FAME: A Forest Assessment and Monitoring Environment Scenario // Geoscience and Remote Sensing Symposium. Vol. 3. P. 1146-1148.
MacDicken K.G. 2015. What, Why and How? // Global Forest Resources Assessment 2015. Forest Ecology and Management. Vol. 352. P. 3-8.
MacDicken K.G., Sola P., Hall J.E., Sabogal C., Tadoum M., de Wasseige C. 2015. Global Progress toward Sustainable Forest Management // Forest Ecology and Management. Vol. 352. P. 47-56.
Mandallaz D. 2008. Sampling Techniques for Forest Inventories. Taylor & Francis Inc. 272 p.
Marklund L.G., Schoene D. 2006. Global Forest Resources Assessment 2005. Global Assessment of Growing Stock: Biomass and Carbon Stock. 55 p.
Milton A.D. 2015. Forest Resilience for Livelihoods and Ecosystem Services. USA: George Mason University. 226 p.
Mitchard E.T.A., Saatchi S.S., Lewis S.L., Feldpausch T.R., Woodhouse I.H., Sonké B., Rowland C., Meir P. 2011. Measuring Biomass Changes due to Woody Encroachment and Deforestation/Degradation in a Forest-savanna Boundary Region of Central Africa Using Multi-temporal L-band Radar Backscatter // Remote Sensing of Environment. Vol. 115. No. 11. P. 2861-2873.
Mohamed A.G. 2005. Improvement of Traditional Acacia Senegal Agroforestry: Ecophysiological Characteristics as Indicators for Tree-crop Interaction on Sandy Soil in Western Sudan. Finland, Helsinki: University of Helsinki. 100 p.
Sudan National Action Programme (SNAP). 2006. Republic of Sudan Ministry of Agriculture and Forestry National Drought and Desertification Control Unit (NDDCU), Sudan, Khartoum. NDDC/UNDP. 54 p.
Nimir H.B., Abdelsalam A.A. 2005. Oil Sector Development and Forestry in Sudan: Issue Paper. Assistance to the Revision of National Forestry Policy, Legislation & Institutional Reorganization. FAO. 1-36 p.
Parrotta J., Yeo-Chang Y., Camacho L.D. 2016. Traditional Knowledge for Sustainable Forest Management and Provision of Ecosystem Services // International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management. P. 1-4.
Pawar K.V., Rothkar R.V. 2015. Forest Conservation & Environmental Awareness // Procedia Earth and Planetary Science. Vol. 11. P. 212-215.
Pretzsch J. 2005. Forest Related Rural Livelihood Strategies in National and Global Development // Forests Trees and Livelihoods. Vol. 15. P. 115-127.
Roy P.S., Dutt C.B.S., Joshi P.K., Nrsa S. 2002. Tropical Forest Resource Assessment and Monitoring // Tropical Ecology. Vol. 43. P. 21-37.
Salih A.A.M., Ganawa E.T., Elmahl A.A. 2018. Spectral Mixture Analysis (SMA) and Change Vector Analysis (CVA) Methods for Monitoring and Mapping Land Degradation/Desertification in Arid and Semiarid Areas (Sudan), Using Landsat Imagery // Egyptian Journal of Remote Sensing & Space Sciences. Vol. 20. P. 21-29.
Sanchez M.E.R., Hernandez M.E. 2018. Assessing and Monitoring Forest Degradation in a Deciduous Tropical Forest in Mexico via Remote Sensing Indicators // Forests. Vol. 8. P. 2-19.
Schneibel A., Frantz D., Röder A., Stellmes M., Fischer K., Hill J. 2017. Using Annual Landsat Time Series for the Detection of Dry Forest Degradation Processes in South-central Angola // Remote Sensing. Vol. 9. No. 9. P. 905.
Siddig A.A. 2019. Why is Biodiversity Data-deficiency an Ongoing Conservation Dilemma in Africa? // Journal for Nature Conservation. Vol. 50. P. 125719.
Sloan S., Sayer J.A. 2015. Forest Resources Assessment of 2015 Shows Positive Global Trends but Forest Loss and Degradation Persist in Poor Tropical Countries // Forest Ecology and Management. Vol. 352. P. 134-145.
Sunderland T., Abdoulaye R., Ahammad R., Asaha S., Baudron F., Deakin E., Duriaux J.Y., Eddy I., Foli S., Gumbo D., Khatun K., Kondwani M., Kshatriya M., Leonald L., Rowland D., Stacey N., Tomscha S., Yang K., Gergel S., Van Vianen J. 2018. A Methodological Approach for Assessing Cross-site Landscape Change: Understanding Socio-ecological Systems // Forest Policy and Economics. Vol. 84. P. 83-91.
Tegegne Y.T., Lindner M., Fobissie K., Kanninen M. 2016. Evolution of Drivers of Deforestation and Forest Degradation in the Congo Basin Forests: Exploring Possible Policy Options to Address Forest Loss // Land Use Policy. Vol. 51. P. 312-324.
Tewari V.P. 2016. Forest Inventory, Assessment, and Monitoring, and Long-term Forest Observational Studies, with Special Reference to India // Forest Science and Technology. Vol. 12. P. 24-32.
Udeagha A.U., Polytechnic F., State K.J., Shomkegh S. 2016. Forest Policy and Administration in Nigeria: Lessons from Tanzania // International Journal of Agriculture and Rural Development. Vol. 19. No. 1. P. 2400-2406.
Report of the United Nations Conference on Environment and Development. 1992. Annex III: Non-legally Binding Authoritative Statement on Principles for a Global Consensus on the Management, Conservation and Sustainable Development of all Types of Forests. Rio de Janeiro: UNCED. 72 p.