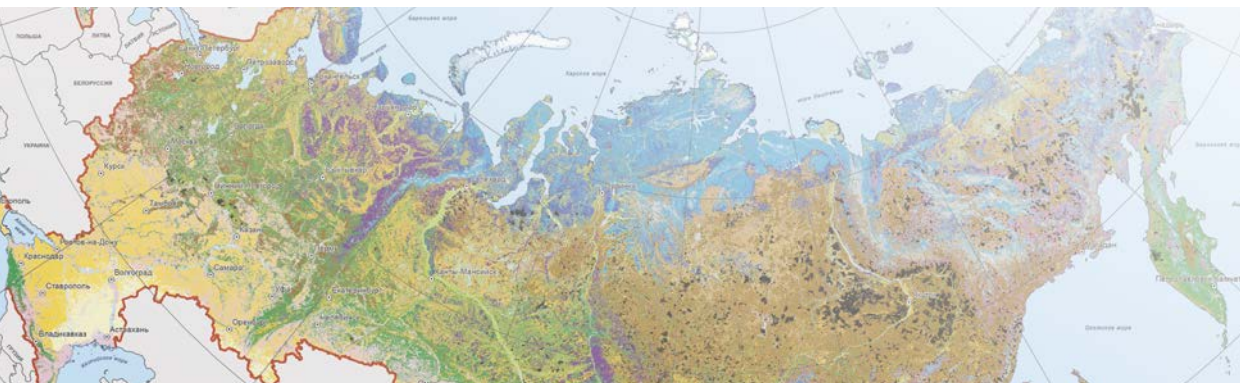


КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕСОВ



БАРТАЛЁВ Сергей Александрович,
доктор технических наук

СТЫЦЕНКО Федор Викторович,
кандидат технических наук

Институт космических исследований РАН

DOI: 10.7868/50044394820060018

Леса – наиболее распространенный тип наземных экосистем планеты. Занимая около 1/3 поверхности суши Земли, они синтезируют почти 2/3 массы ее органических веществ, являются важнейшим регулятором глобальных биохимических и биофизических процессов, включая циклы углерода и воды, поддерживают кислородный и энергетический баланс. Каково же состояние лесов планеты? Сколько их и где они произрастают, каковы их породный состав и продуктивность, как быстро они меняются и в какой мере способны сейчас – и смогут ли в будущем – выполнять свои функции регулятора климата и круговорота воды, среды обитания многочисленных растений и животных, фактора здоровья людей, наконец, источника древесных ресурсов? Каков масштаб влияния антропогенных (т. е. порожденных человеком) факторов на лесной покров Земли и ведут ли они к его деградации?

Многими из перечисленных выше вопросов сегодня задаются не только лесоводы и географы, правительственные и международные структуры, природоохранные организации, но и крупный бизнес. Так, согласно оценке экспертов Boston Consulting Group¹, стоимость лесов нашей страны

составляет как минимум 4 трлн долларов и превосходит стоимость всей российской нефти. При этом основная часть этой стоимости приходится не на древесные ресурсы, а на выполнение лесами функций аккумуляции углерода и регулирования меняющегося климата. С учетом справедливого стереотипа восприятия России как крупнейшей лесной державы, эти оценки могут породить ожидания существенных экономических выгод для

¹<https://www.bcg.com/publications/2020/the-staggering-value-of-forests-and-how-to-save-them>

нашей страны в свете перспектив введения трансграничного углеродного налога, активно обсуждаемого правительствами стран и экспертами на различных международных «площадках», в том числе действующих под эгидой Организации Объединенных наций.

Этот вопрос в России находится в фокусе внимания первых лиц страны, Совета Федерации, а также крупного бизнеса, выступающего под эгидой Российского союза промышленников и предпринимателей. Тем не менее пока еще не удалось прийти к консенсусу о реальной способности лесов страны поглощать парниковые газы и аккумулировать в себе атмосферный углерод.

Одна из основных причин неопределенности состоит в том, что официальные оценки способности российских лесов поглощать парниковые газы носят весьма дискуссионный характер, так как получены на основе данных, которые не вызывают доверия. Дело в том, что лишь для 15% площади лесов России имеется относительно актуальная, т. е. собранная в последние 10 лет, информация, в то время как в среднем по стране давность последней актуализации такой информации приближается к 25 годам. По мнению одного из авторитетных отечественных ученых-лесоводов профессора А.З. Швиденко (Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН), последний относительно надежный учет лесов страны был выполнен в 1988 г., т. е. более 30 лет назад, а последующая актуализация этой информации носила «косметический» характер.

При этом леса – динамичная экосистема, они непрерывно меняются в больших масштабах в силу естествен-

ных процессов роста и сукцессионного развития, а также под влиянием природных и антропогенных деструктивных факторов. Леса ежегодно вырубаются и повреждаются пожарами, болезнями, насекомыми-вредителями, смерчами и ураганами, техногенными загрязнениями на площади, измеряемой миллионами (а в отдельные годы – десятками миллионов) гектар. В результате информация о лесах быстро «устаревает» и обновлять ее надо регулярно и часто.

Возможно ли в современных условиях регулярно и с достаточной частотой получать информацию о лесах, учитывая огромные и часто плохо доступные территории, на которых они произрастают? Ответ на этот вопрос и призвана дать настоящая статья, в заголовке которой вынесен сим-

биоз таких, на первый взгляд далеких друг от друга, сущностей, как «лес» и «космос».

Понимание того, что космические средства наблюдения способны регулярно и экономически эффективно получать информацию о лесах, пришло к ученым и специалистам лесного хозяйства практически сразу после начала космической деятельности и первыми запусками искусственных спутников Земли. В СССР исследования и разработки в области космических методов изучения лесов интенсивно развивались с начала 1970-х гг. при значительной поддержке государства и были преимущественно направлены на решение задач лесного хозяйства. Вплоть до окончания советского периода они велись достаточно успешно. В определенной мере этому способствовал тот факт, что в отечественной системе лесоустройства к тому времени

Лишь для 15% площади лесов России имеется относительно актуальная, т. е. собранная в последние 10 лет, информация, в то время как в среднем по стране давность последней актуализации такой информации приближается к 25 годам.

прочно укоренилось применение аэрофотосъемки, и материалы космической съемки часто достаточно просто встраивались в уже действующие технологические схемы выполнения лесоучетных работ без необходимости менять базовые методические принципы.

Но за прошедшее время техническая и методическая база космических исследований лесов претерпела значительное развитие. Если с начала 1970-х по конец 1990-х годов доступ к данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) был довольно ограничен и для их анализа преимущественно использовались методы визуального дешифрирования космических фотоснимков, то сегодня мы имеем гигантские объемы непрерывно поступающих и свободно распространяемых высококачественных данных спутниковых наблюдений, обработка которых немыслима без автоматизированных технологий.

Сейчас технические возможности спутниковых систем ДЗЗ позволяют проводить глобальные и непрерывные наблюдения лесов в широких диапазонах длин волн электромагнитного излучения, величин пространственного и временного разрешения. Это позволяет выполнять крупные международные программы по глобальному спутниковому мониторингу лесов, в числе которых программы Продовольственной и сельскохозяйственной организации (ФАО) ООН, Европейской комиссии (ЕС), Европейского космического агентства (ESA). В США (NASA) и в Китае (Китайская академия наук) существуют и успешно развиваются национальные программы глобального спутникового мониторинга лесов и других типов растительного покрова. Результаты этих программ находят использование для оценки лесных ресурсов и состояния лесов, прогнозирования климатических изменений. Существуют и международные «меха-

низмы» координации различных глобальных и региональных программ спутникового мониторинга лесов, такие как, например, GOF-C-GOLD (Global Observations of Forest Cover and Land-use Dynamics)² или GFOI (Global Forest Observations Initiative)³.

Россия, будучи крупнейшей лесной державой, обладает примерно 20% площади и объема древесных ресурсов лесов планеты. Однако по-настоящему полно леса страны не были изучены никогда, и эта ситуация сохраняется и в настоящее время. Так, леса ряда северных территорий Сибири и Дальнего Востока никогда не были полноценно обследованы методами наземной таксации (таксация лесов – оценка характеристик лесов в пределах лесотаксационных выделов, т. е. выделенных однородных по породно-возрастной структуре и продуктивности участков леса). Единственная имеющиеся по ним информация получена в 1980-х годах с использованием визуального дешифрирования космических фотоснимков и выборочных измерений характеристик лесов на тестовых участках. До настоящего времени сохранились и территории, единственной информацией о лесах которых остаются результаты аэровизуального наблюдения, выполненные в далеких 1950-х годах. Очевидные причины такого положения – слабая доступность этих территорий из-за неразвитости транспортной инфраструктуры, а также невысокая коммерческая ценность произрастающих на них, как правило, низкопродуктивных лесов. Однако наблюдаемое в последние годы нарастание климатических изменений, которые проявляются, в первую очередь, в северных широтах, а также реализуемые программы экономического освоения российской

²<https://gofcgold.org/>

³<http://www.fao.org/gfoi>

Арктики все более настоятельно диктуют необходимость получать актуальную и точную информацию о произрастающих на этих территориях лесах.

С учетом огромной площади российских лесов, труднодоступности значительной их части, а также масштабов происходящих в них изменений, на современном этапе научно-технического развития методы космических исследований лесов практически не имеют

реальной альтернативы. В свое время известный канадский ученый в области космических исследований наземных экосистем Жозеф Сихляр (Josef Cihlar) сказал, что Канада – это страна, созданная для дистанционного зондирования Земли, имея в виду, что получить полную информацию о ее территории без использования спутниковых методов наблюдения практически невозможно. Очевидно, что это высказывание в еще большей степени справедливо и в отношении лесов нашей страны, обладающих куда большей территорией и меньшей доступностью.

В постсоветское время в современной России методологию космических исследований лесов развивают преимущественно организации Российской академии наук (РАН), в частности, Институт космических исследований (ИКИ) в кооперации с Центром по проблемам экологии и продуктивности лесов (ЦЭПЛ РАН). Разработанные учеными РАН автоматизированные методы и технологии обработки данных ДЗЗ позволяют создавать системы спутникового мониторинга лесов, такие как, в частности, не имеющая аналогов по функциональным

возможностям Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Рослесхоза (ИСДМ-Рослесхоз)⁴. Разработаны методы и технологии ежегодной оценки на основе данных ДЗЗ лесов на всей территории страны, что позволяет вести мониторинг их площади, породного состава и биомассы, выявлять и оценивать насаждения, погибшие от пожаров, насекомых-вредителей и болезней.

Получаемая в настоящее время с использованием данных ДЗЗ информация о лесах позволяет давать объективную оценку их состоянию, определять направленность и скорость изменений, в том числе выявлять потенциально опасные тенденции, способные привести к деградации экосистем и их биологического разнообразия, оказать негативное воздействие на циклы углерода и воды, и в конечном счете на региональный и глобальный климат.

Что же именно могут дать космические методы наблюдения за лесами России для наших знаний о них? Как полученные знания могут быть использованы в научных исследованиях, хозяйственно-экономической и природоохранной деятельности, международных отношениях?

Переход к современному этапу развития методов космических исследований лесов можно датировать примерно концом 1990-х – началом 2000-х годов, когда в мире созрели технические и методические предпосылки для реализации крупных проектов в области

Нарастание климатических изменений, которые проявляются, в первую очередь, в северных широтах, а также реализуемые программы экономического освоения российской Арктики все более настоятельно диктуют необходимость получать актуальную и точную информацию о произрастающих на этих территориях лесах.

⁴https://nffc.aviales.ru/main_pages/index.shtml

спутникового мониторинга лесов на континентальном и глобальном уровнях. К их числу относится запуск спутниковых систем ДЗЗ SPOT-Vegetation (Европа, 1998 г.) и MODIS (NASA, 1999 г.), а также открытие свободного доступа к глобальным архивам данных спутников серии Landsat (NASA/USGS, 2009 г.) и Sentinel-2 (ESA, 2015 г.). Существенное развитие получили автоматизированные технологии обработки больших объемов данных. Появились коллективы и ведущие научные школы, способные разрабатывать методы и автоматизированные технологии спутникового мониторинга лесов, которые можно применять на больших территориях – крупных стран, континентов и планеты в целом.

В начале 2000-х годов в ИКИ РАН сформировались условия для целенаправленных исследований и разработок в области спутникового мониторинга лесов на национальном уровне. В частности, в Отделе технологий спутникового мониторинга ИКИ РАН под руководством доктора технических наук Е.А. Лупяна была создана техническая инфраструктура и разработаны программные комплексы хранения и автоматизированной обработки сверхбольших объемов данных ДЗЗ. Началось формирование непрерывно обновляемых многолетних архивов спутниковых данных, охватывающих всю территорию России и близлежащих государств. К этому же времени развились автоматизированные технологии потоковой обработки больших массивов спутниковых данных.

В 2000-х годах же в ИКИ РАН формировалась научная школа и коллектив ученых, работающих в области автоматизированных методов спутникового мониторинга растительного покрова. Методологию спутникового мониторинга лесов, которую развивает коллектив, имеет некоторые отличительные черты:

- направленность на разработку методов и технологий автоматической обработки данных ДЗЗ, обеспечивающих полную воспроизводимость результатов;

- ориентированность на разработку адаптивных алгоритмов тематической обработки данных ДЗЗ, которые обеспечивают локализованную оптимальную (само)настройку параметров в зависимости от пространственного расположения объекта мониторинга и времени проведения спутниковых наблюдений;

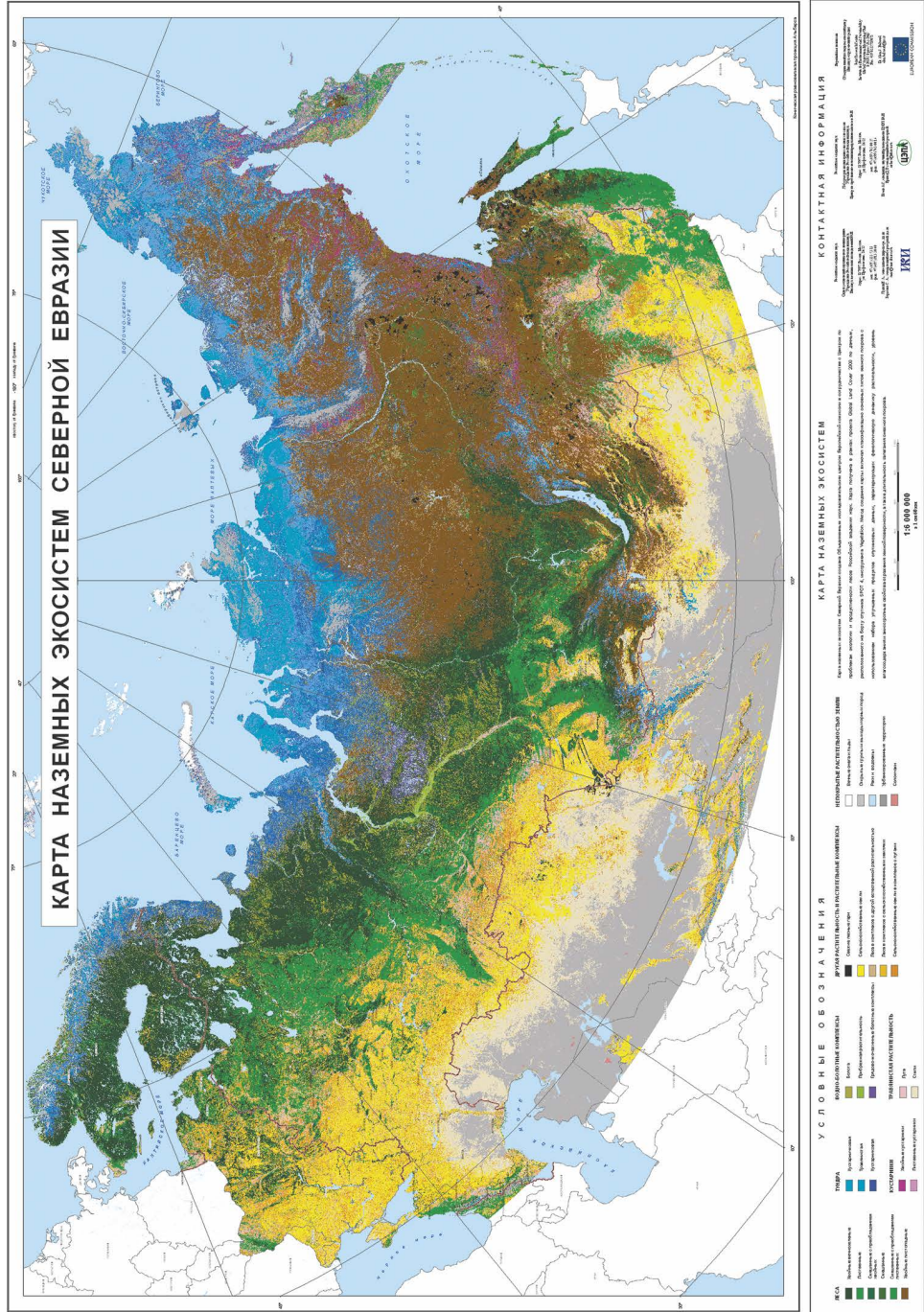
- применимость разрабатываемых методов и технологий для мониторинга лесов на больших территориях вплоть до глобальных масштабов (то есть от крупных стран до континентов и планеты в целом);

- возможность формировать однородные временные ряды спутниковых карт, способные характеризовать динамику лесов.

Выработка вышеперечисленных положений в значительной мере опиралась на опыт, накопленный при создании карты наземных экосистем Северной Евразии в рамках проекта GLC2000.

Созданная на основе данных спутниковой системы SPOT-VEGETATION карта наземных экосистем Северной Евразии имеет пространственное разрешение около 1 км, а ее легенда включает в себя 27 тематических классов, семь из которых отражают различные классы лесов, выделенные по признакам, присущих им типам вегетативных органов (хвойные, лиственные) и фенологической динамике (вечнозеленые, листопадные).

Высокий уровень тематической детальности и достоверности, достигнутый при создании карты, объясняет широкое ее использование в научных проектах и практических приложениях, насчитывающее тысячи пользователей в различных странах мира. Созданная



Карта наземных экосистем Северной Евразии по данным SPOT-VEGETATION

карта впервые наглядно продемонстрировала масштабную смену коренных хвойных лесов вторичными лиственными лесами в Европейской части России, Центральной Сибири и на Дальнем Востоке в результате интенсивных вырубок второй половины прошлого столетия и пожаров. Анализ карты позволил оценить масштабы застарения лесом сельскохозяйственных земель в ряде регионов России, которые были заброшены в период постперестроечного спада экономики.

Вместе с тем метод создания карты наземных экосистем Северной Евразии основывался на классификации спутниковых данных со значительным участием людей-экспертов. Как следствие, процесс картографирования требовал много времени, содержал элементы субъективности при интерпретации спутниковых данных и не обеспечивал полную воспроизводимость результатов. Эти же ограничительные факторы практически исключали возможность регулярного картографирования лесов для мониторинга их изменений.

Тем не менее полученный при создании карты опыт позволил сделать ряд важных выводов. В частности, было продемонстрировано, что решение задач картографирования больших территорий требует разработки формализованных методических подходов и технологических решений, позволяющих осуществлять автоматическое (без участия человека) распознавание типов земной поверхности, учитывая при этом фактор пространственной внутриклассовой изменчивости их спектрально-отражательных характеристик, влияние которого, как правило, возрастает с увеличением географического охвата.

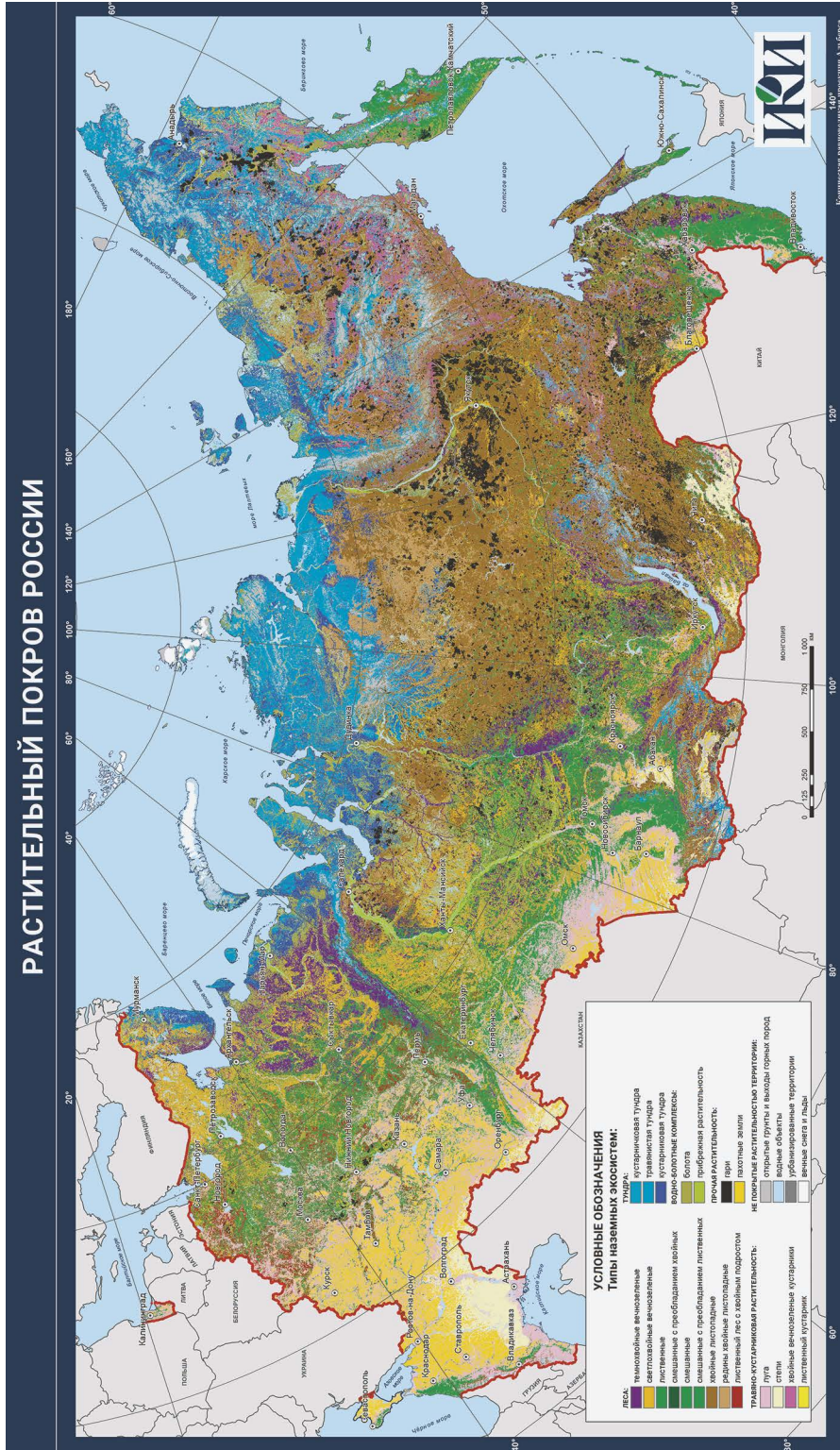
Второй важный вывод – необходимость, наряду с одномоментной информацией о спектрально-отражательных характеристиках объектов земной

поверхности, максимально полно использовать возможности извлечения тематической информации о растительности из временных рядов спутниковых данных, способных характеризовать как сезонную, так и многолетнюю ее динамику.

Сделанные в ходе создания карты наземных экосистем Северной Евразии выводы позволили придать дальнейшим разработкам в области спутникового картографирования лесов принципиально новые черты, которые в значительной мере не только определили полученные к настоящему моменту результаты, но и задают тренд дальнейшего развития методологии.

Принципиально новый шаг в развитии космических исследований лесов сопряжен с разработкой алгоритма локально-адаптивной классификации спутниковых изображений LAGMA (Locally Adaptive Global Mapping Algorithm). В основе алгоритма лежит принцип пространственной локализации обучения классификатора и распознавания типов земного покрова. Использование алгоритма обеспечивает адаптивность классификатора к пространственным изменениям физико-географических условий как одного из требований, предъявляемых к методам обработки спутниковых данных на глобальном уровне. В отличие от ранее известных методов, алгоритму LAGMA генетически присущ механизм учета пространственной внутриклассовой изменчивости спектрально-отражательных характеристик (или любых других признаков распознавания) земного покрова. Это унифицирует картографирование растительного покрова больших территорий без предварительной их стратификации, т. е. разбиения их человеком-экспертом на однородные области с допустимым уровнем внутриклассовой изменчивости значений признаков распознавания типов

РАСТИТЕЛЬНЫЙ ПОКРОВ РОССИИ



Карта растительного покрова России, полученная по данным MODIS

земного покрова. Эта особенность метода LAGMA позволяет использовать его для создания карт лесов любого, вплоть до глобального, географического охвата.

Упомянутые выше методические разработки сегодня реализованы в виде программных комплексов и автоматических технологий. С их помощью на основе данных ДЗЗ создаются временные ряды ежегодно обновляемых тематических карт, характеризующих состояние и динамику лесов России.

Временной ряд созданных карт растительного покрова России охватывает период 2001–2019 гг. и ежегодно дополняется по мере сбора и обработки спутниковых данных. Легенда карты включает в себя 23 тематических класса, 18 из которых характеризуют различные типы растительности, выделенные с учетом их жизненных форм, типов вегетативных органов и фенологической динамики.

Сегодня эта серия ежегодных карт пространственного разрешения 230 м является наиболее детальным в пространственно-временном и тематическом отношении источником информации о типах растительного покрова России, полученной на всю территорию страны.

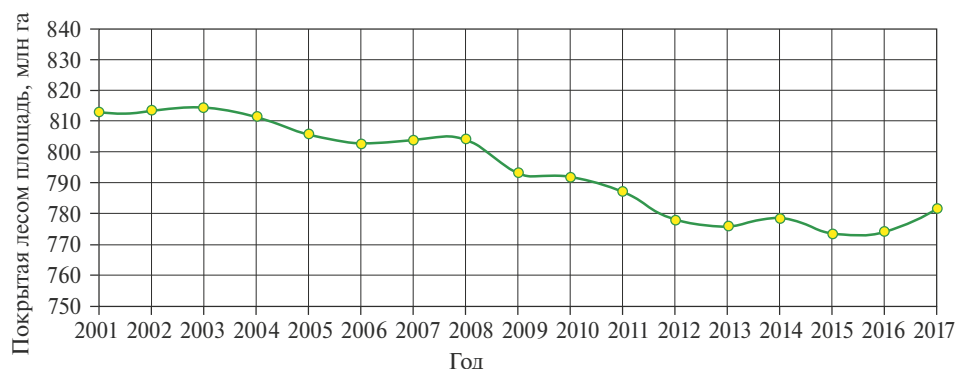
Процесс построения карты автоматизирован, что обеспечивает полную

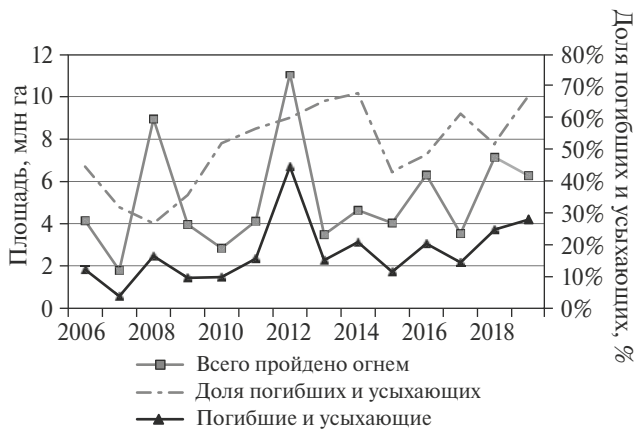
повторяемость получаемых результатов и позволяет ежегодно картографировать леса в масштабах страны. Полученный временной ряд карт дает возможность оценить многолетние изменения лесов под воздействием природных и антропогенных деструктивных факторов, процессов возобновления и сукцессионной динамики растительного покрова.

Полученные результаты позволили оценить изменения площади лесов нашей страны за время с начала нынешнего столетия, которые, как наглядно демонстрирует представленный график, вплоть до 2015 г. имели выраженную негативную тенденцию. Последние несколько лет наблюдается прирост покрытых лесом территорий. Оценка чистых потерь леса на территории страны за период спутниковых наблюдений 2001–2015 гг. показывает огромную величину, составляющую примерно 39 млн га, т. е. в среднем за год около 2,8 млн га или 0,35% покрытой лесом площади.

При этом нужно учитывать, что эта величина ежегодных чистых потерь леса складывается как баланс разнонаправленных процессов. С одной стороны, происходит сокращение покрытой лесом площади из-за рубок, пожаров и других деструктивных

Динамика покрытой лесом площади России по данным ДЗЗ





Многолетние вариации значений показателей воздействия пожаров на леса России

факторов. С другой стороны, леса восстанавливаются в результате зарастания участков вырубок и погибших насаждений предыдущих лет, зарастания заброшенных сельскохозяйственных земель.

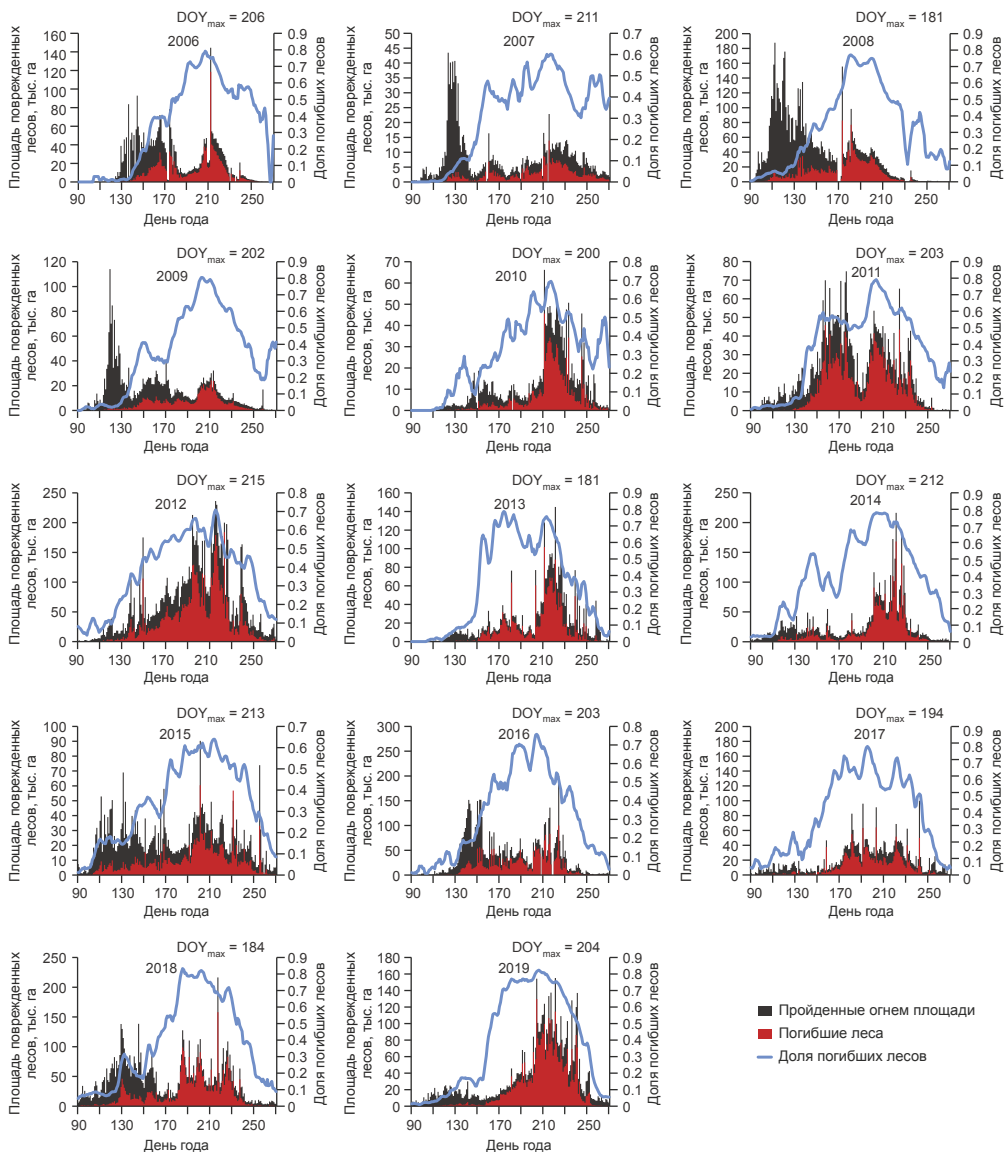
Анализ показывает, что в текущем столетии основным фактором сокращения площади лесов России являются пожары, ежегодно охватывающие миллионы гектаров. Особенности географического и сезонного распределения пожаров, межгодовой изменчивости количества возникающих очагов горения и пройденной огнем площади благодаря методам ДЗЗ уже достаточно хорошо изучены. Методы дистанционной оценки пирогенных (т. е. вызванных пожарами) повреждений лесов, которые были развиты в последние годы, позволили сформировать ежегодно обновляемые многолетние ряды данных о характеристиках их постпожарных усыханий и гибели в масштабах страны. В результате появилась возможность исследовать пространственно-временные особенности пирогенных повреждений лесов России, в том числе во взаимосвязи с их породной структурой и другими характеристиками.

Представленные графики отражают динамику таких показателей масштабов и разрушительной силы лесных пожаров на территории России, как:

- пройденная огнем площадь лесов;
- площадь пирогенной гибели лесов;
- летальность пожаров, определяемая как доля площади погибших лесов на пройденной огнем площади.

В 2006–2019 годах площадь пожаров и гибели лесов достигали значения максимума в 2012 г. и имеют тенденцию к нарастанию. Анализ летальности пожаров характеризуется диапазоном изменений от 27,5 до 67,5%, с достижением минимального и максимального значений соответственно в 2008 и 2014 гг. При этом наблюдается положительный тренд летальности пожаров, а ее значение в 2019 г. составило 66,9%, вплотную приблизившись к абсолютному максимуму показателя за весь период спутниковых наблюдений.

Чтобы понять причины роста летальности лесных пожаров, можно обратить внимание на ежегодные распределения их площади в течение года. Из этих данных видно, что в различные годы в большинстве случаев наблюдается выраженный пик горимости в летний период, а для ряда лет характерно еще и наличие весеннего пика. При этом видно, что весенние пожары, часто охватывающие большие площади, как правило, не приводят к масштабной гибели лесов (например как в 2006–2009 гг.). Одновременно также можно отметить, что сезонное распределение пожаров имеет тенденцию к увеличению доли разрушительных летних пожаров и снижению вклада менее вредоносных весенних пожаров.

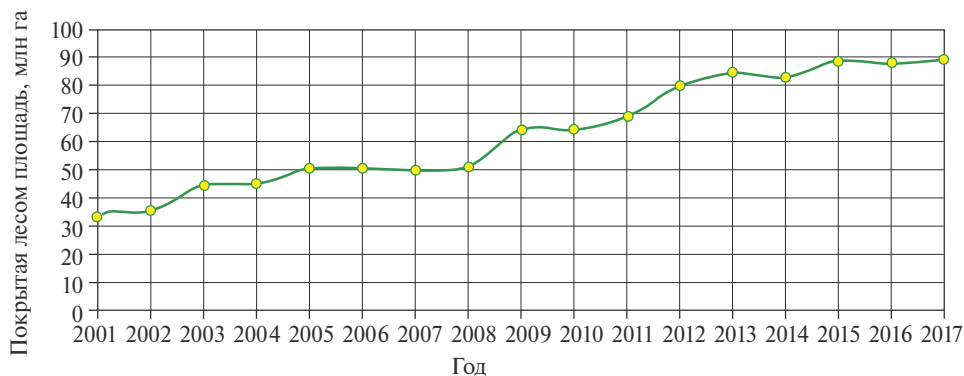


Сезонные распределения площади поврежденных пожарами и погибших лесов на территории России в 2006–2019 гг.

Среди факторов, способных оказывать влияние на наблюдаемые изменения режима пожаров на территории России, можно рассматривать влияния климата и человеческой деятельности.

К числу климатогенных факторов, определяющих режимы пожаров, относятся температура воздуха, осадки, грозовая активность. Факторы антропо-

генного влияния на пожары могут проявляться как в изменениях режимов охраны лесов, так и в присутствии человека, как основного источника огня в лесу. Следует помнить, что в рассматриваемый период (2006–2019 гг.) уровень охраны лесов от пожаров имел тенденцию к снижению (как следствие реформ в лесном хозяйстве), при этом



Динамика площади необлесенных гарей в лесах России

хозяйственно-экономическая деятельность в лесах северных территорий Сибири и Дальнего Востока нарастала.

Как следствие растущей пирогенной гибели лесов с начала текущего века на территории России наблюдалось увеличение площади так называемых необлесенных гарей, на которых леса не восстановились до настоящего времени. Наблюдаемый огромный прирост площади необлесенных гарей с 44 до 84 млн га за десятилетний период с 2003 по 2013 г., безусловно, является тревожным индикатором неблагополучия российских лесов. Положительный же факт – с 2015 г. прекратилось нарастание негативной тенденции деградации лесного покрова страны.

Результаты спутникового мониторинга свидетельствуют о масштабной деградации лесов России, которая означает сокращение их площади и возрастающие масштабы гибели, ухудшение породной структуры со снижением в их составе деревьев ценных хвойных пород. Представленный график свидетельствует о выявленном по результатам спутникового мониторинга стремительном уменьшении площади темнохвойных лесов страны, представленных такими породами, как ель, пихта и сибирский кедр. Площадь темнохвойных лесов с 2000 г. испытывает

близкое к монотонному снижению, сократившись примерно на 21%. Средние темпы деградации темнохвойных лесов имеют катастрофический характер, составляя 0.85×10^6 га в год.

Выполненный на основе данных спутникового мониторинга анализ причин деградации темнохвойных лесов показывает, что, наряду со сплошными рубками и пожарами, значительный вклад в сокращение их площади вносят и усыхания, вызванные биогенными, метеорологическими и другими факторами.

Приведенные выше примеры того, как благодаря космическим средствам наблюдения Земли была получена уникальная информация о состоянии лесов России, безусловно, не ограничивают возможности современных технологий дистанционного зондирования.

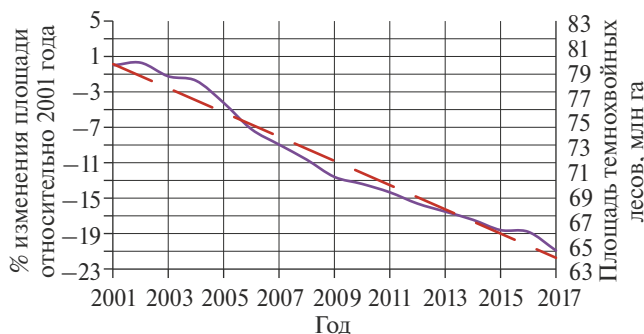
Разработанные технологии позволяют уже сегодня создать высокотехнологичную систему комплексного мониторинга лесов, с помощью которой можно будет регулярно получать объективную информацию для управления лесным хозяйством и использования лесных ресурсов, а именно для:

- оценки ресурсно-экологического потенциала лесов;
- охраны лесов от пожаров;
- защиты лесов от насекомых вредителей и болезней леса;

- контроля лесопользования (в том числе незаконных рубок);
- организации и контроля работ по воспроизводству лесов;
- оценки способности лесов поглощать парниковые газы и аккумулировать атмосферный углерод.

Разработка и ввод в эксплуатацию системы спутникового мониторинга лесов на национальном уровне сопряжены с необходимостью решения ряда сложных научно-методических, технологических и организационных задач. Система спутникового мониторинга лесов России должна обеспечивать выполнение таких базовых функций, как:

- создание и непрерывное обновление сверхбольших (объемы, измеряемые петабайтами) банков спутниковых данных;
- предварительная обработка спутниковых данных (пространственная привязка, радиометрическая калибровка и атмосферная коррекция, фильтрация различного рода помех) для обеспечения необходимого уровня их качества;
- автоматическое распознавание объектов земной поверхности на основе специализированных алгоритмов, адаптивных к пространственно-временным изменениям физико-географических условий;
- оценка биофизических характеристик земной поверхности на основе данных дистанционных измерений;
- валидация результатов мониторинга, в том числе с использованием репрезентативной опорной информации;
- создание интерфейсов удаленного доступа пользователей к банкам спутниковых данных и полученной на их основе информации.



Масштабность задач спутникового картографирования лесов России, сопряженных с обработкой сверхбольших массивов спутниковых данных, обуславливает необходимость использования высокопроизводительных вычислительных комплексов.

К настоящему времени в России созданы уникальные технологии дистанционного мониторинга лесов, активно используемые для решения научных и прикладных задач. Многие из этих технологий не только не уступают, но и превосходят зарубежные аналоги.

Сегодня созданные институтами Российской академии наук ИКИ и ЦЭПЛ технологии дистанционного зондирования позволяют осуществлять непрерывные наблюдения за лесами на всей территории страны для решения задач оценки лесных ресурсов, охраны их от пожаров и других деструктивных воздействий, объективного учета способности лесов России поглощать из атмосферы парниковые газы и аккумулировать углерод. В условиях острейшей потребности в получении объективной и регулярно актуализируемой информации о лесах страны ценность созданных технологий трудно переоценить.

Статья подготовлена при поддержке темы ИКИ РАН «Мониторинг» (госрегистрация № 01.20.0.2.00164). Использованные при подготовке статьи экспериментальные данные о динамике лесов получены в рамках гранта Российского научного фонда (проект № 19-77-30015).