

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Лагута А.А., Погорелов А.В. Особенности дельтоформирования рек, впадающих в долинное водохранилище (на примере Краснодарского водохранилища) // Географический вестник = Geographical bulletin. 2019. №3(50). С. 119–134. doi 10.17072/2079-7877-2019-3-119-134.

lease cite this article in English as:

Laguta A.A., Pogorelov A.V. Peculiarities of delta formation in rivers flowing into the valley reservoir (a case study of Krasnodar reservoir) // Geographical bulletin. 2019. №3(50). P. 119–134. doi 10.17072/2079-7877-2019-3-119-134.

УДК 681.518.(075.32)

DOI: 10.17072/2079-7877-2019-3-134-145

ПРИМЕНЕНИЕ ОПЕРАТИВНОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ПРИ ВЕДЕНИИ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**Андрей Владимирович Тарасов**ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8355-6623>, РИНЦ Author ID: 1040743,

SPIN-код: 3994-7421

e-mail: andrew.tarasov1993@gmail.com*Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь*

В статье освещены некоторые результаты применения методов оперативного картографирования на примере пилотного проекта по организации ежемесячного мониторинга лесохозяйственной деятельности с использованием снимков с космических аппаратов PlanetScore и Sentinel-2. Объектом исследования стал тестовый участок (Добрянское лесничество площадью 396 777 га, расположенное в Пермском крае), предметом оперативного картографирования являлись негативные изменения на лесных территориях (пожары, вырубки, ветровалы). Выявление изменений производилось с помощью разности вегетационного индекса TVI, что обусловлено особенностями съемочной системы PlanetScore, на которой установлены сенсоры для видимого и ближнего инфракрасного диапазонов спектра. Благодаря созданию полуавтоматических инструментов удалось сократить время получения карт до 1–2 дней, что является одним из основных признаков оперативного картографирования. Использование данных с современных спутниковых систем позволяет увеличить временное разрешение оперативного картографирования лесохозяйственной деятельности до 1 месяца (в некоторых случаях до 1 недели). Главным ограничением разработанного метода является невозможность получения безоблачных снимков с требуемой частотой, особенно в осенний период.

Ключевые слова: оперативное картографирование, PlanetScore, Sentinel-2, вегетационные индексы.

APPLICATION OF OPERATIONAL MAPPING IN THE FOREST OPERATIONS MANAGEMENT

Andrey V. Tarasov

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8355-6623>, SPRI Author ID: 1040743,

SPIN-code 3994-7421

e-mail: andrew.tarasov1993@gmail.com

Perm State University, Perm

The paper presents the results of application of operational mapping methods via a pilot project of monthly monitoring of changes in the forest cover using PlanetScope and Sentinel-2 images. The study area is the Dobryanka forestry with an area of 396, 777 ha, located in the Perm region. Forest losses (fires, cuttings and windthrows) are detected each month based on PlanetScope satellite images. The TVI difference vegetation index, based on red and near-infrared spectral bands of PlanetScope images, was used for detecting the changes. The detected forest losses were generalized, filtered and verified manually. The output vector features were used as input in the Python tool, which allowed for automatic generation of maps. With the creation of semi-automatic tools, it was possible to reduce the time to get resulting maps in each month to 1-2 days, which is one of the main features of operational mapping. Using data from modern satellite systems increases the temporal resolution of operational mapping of forestry activities up to 1 month (in some cases up to 1 week). The main limitation of the developed method is the impossibility of obtaining cloudless images with the required frequency, especially in the autumn period.

К е у в о р д с : operational mapping, PlanetScope, Sentinel-2, vegetation indices.

Введение

Получение оперативной информации о состоянии природных комплексов всегда являлось важной задачей во многих отраслях хозяйственной деятельности, в том числе в лесном секторе экономики. Общеизвестно, что одним из лучших способов представления пространственной информации является карта, поэтому в настоящее время становится важным развитие методов и средств оперативного картографирования. Оперативное картографирование – одна из ветвей геоинформационного картографирования, суть которого связана с созданием и использованием карт в реальном или близком к реальному масштабам времени с целью быстрого (своевременного) информирования пользователей и воздействия на ход процесса [2]. На сегодняшний день это особенно актуально благодаря активному развитию съёмочных систем космического базирования.

В 2017–2018 гг. в развитии технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) был пройден важный этап: впервые появилась возможность получения снимков высокого пространственного разрешения (10 м и детальнее) с частотой 2–7 раз в неделю, причем часть данных находится в открытом доступе. Это позволяет решать новые задачи и повысить качество уже существующих решений. В лесном хозяйстве данные ДЗЗ являются основным источником актуальной информации о лесах. К одной из самых востребованных и актуальных задач относится оперативное картографирование лесохозяйственной деятельности с целью быстрого выявления нарушений при рубке лесных насаждений. Одним из самых часто встречаемых способов реализации является организация системы космического и авиационного мониторинга.

На сегодняшний день в России действуют несколько систем мониторинга различного территориального охвата. Для мониторинга лесов Дальнего Востока используются автоматизированные системы «Вега-Приморье» [8], «Кедр» [1]. Однако эти системы имеют локальный характер и не подходят для других регионов РФ. В компании NextGIS существует еще одна система выявления изменений лесных ресурсов, но лишь по зимним снимкам, что

ограничивает возможность проведения мониторинга в бесснежный период [6]. Опыт мониторинга вырубок с использованием снимков сверхвысокого разрешения (WorldView 1,2, QuickBird) имеется в ФГУП «Рослесинфорг Запсиблеспроект», но выявление изменений проводится слишком редко (1 раз в год) [5].

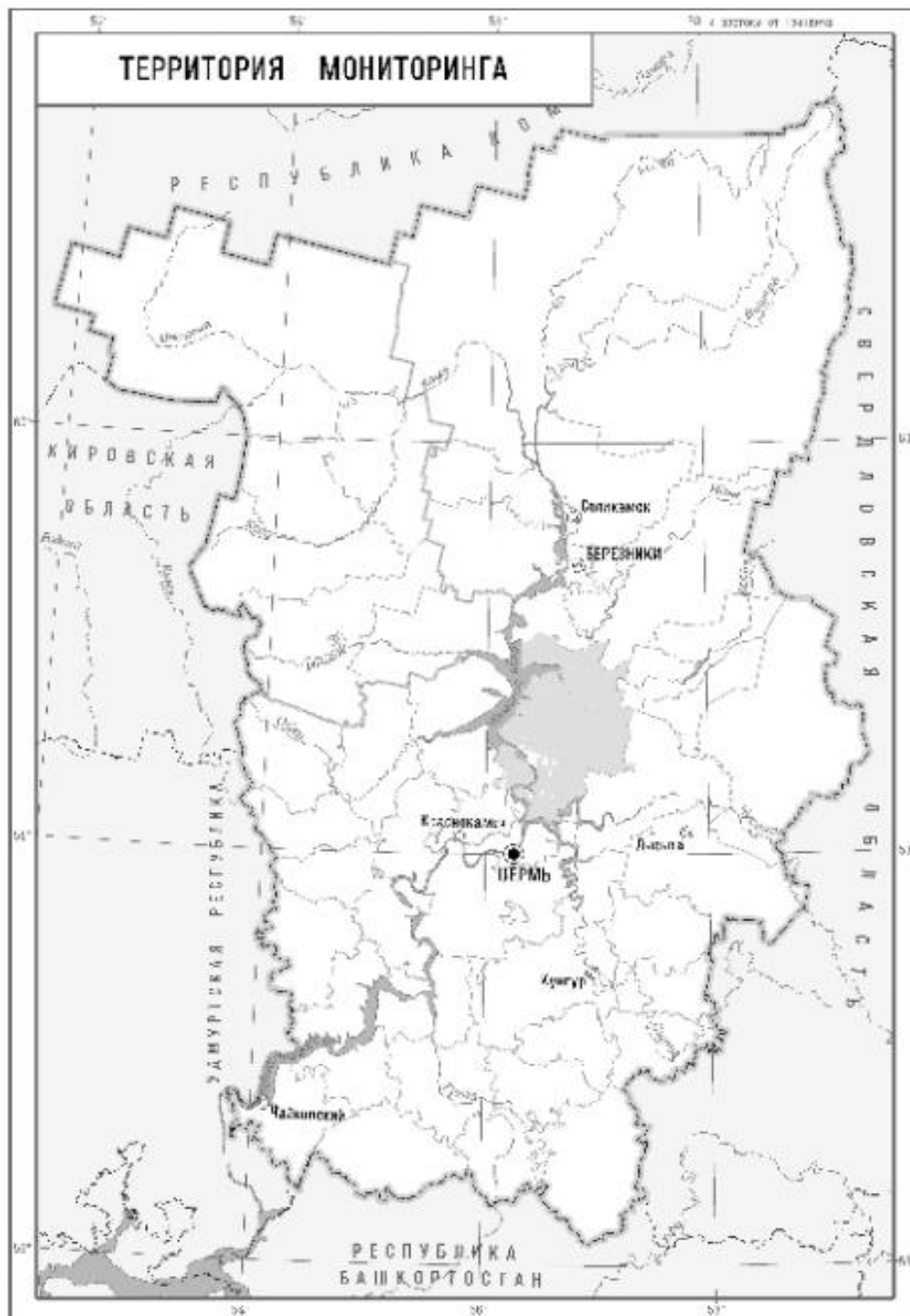


Рис. 1. Местоположение тестового участка (тестовый участок – серая заливка)
 Fig. 2. Study area location (gray fill)

Как видно из вышесказанного, перечисленные системы имеют дисбаланс в двух характеристиках мониторинга: временном и пространственном разрешениях. Например, система ВЕГА-Приморье благодаря использованию множества различных источников теоретически может довести периодичность мониторинга до 1–3 дней, но при этом минимально возможная площадь обнаружения изменений будет составлять около 1 га. С другой стороны, в ФГУП «Рослесинфорг Запсиблеспроект» используют снимки субметрового расширения, что позволяет теоретически выделять изменения на площади от 0,0016 га, но при этом периодичность анализа будет 1 раз в год. Поэтому для решения задач мониторинга отдельных лесничеств необходимо создавать региональные системы обнаружения изменений в рамках оперативного картографирования.

Примером организации более регулярного и часто обновляемого оперативного картографирования лесного покрова с использованием снимков высокого разрешения в оптическом диапазоне может служить проект, реализованный на территории Пермского края (Добрянское лесничество) (рис. 1). Целью проекта является обнаружение негативных изменений на лесных территориях: пожаров, вырубок, ветровалов, усыханий и т.п. Приоритетное направление – выявление вырубок и оценка их соответствия задекларированным контурам.

Материалы и методы исследования

В качестве исходных, регулярно обновляемых и обрабатываемых данных использовались данные телеметрии со спутников PlanetScope и Sentinel-2 (A/B). Крупнейшая в мире спутниковая группировка PlanetScope компании Planet Labs позволяет получать снимки любой части территории земного шара с высоким пространственным разрешением (3 м). Большое количество спутников (больше 120, каждый весом 4,7 кг) равномерно распределены по орбите, а их простая конструкция и технологии производства с низким уровнем затрат позволяют существенно снизить стоимость снимков. Съёмка ведется в 4 спектральных каналах: красный, зеленый, голубой, ближний инфракрасный (ИК). Повторяемость съёмки – 1 день (возможно получение снимков несколько раз в день). Ширина полосы съёмки – 25 км. Архив доступен с 2016 г. (в зависимости от территории). Ошибка геопривязки данных составляет около 10 м. В большинстве случаев снимки совмещены попиксельно, что позволяет избежать процедуры геометрической коррекции (коррегистрации) перед выявлением изменений [7].

Космические аппараты Sentinel-2 (A/B) оснащены оптико-электронным мультиспектральным сенсором для съёмок с разрешением от 10 до 60 м в 13 спектральных каналах в видимой, ближней ИК (VNIR) и коротковолновой ИК (SWIR) зонах спектра. Это обеспечивает отображение различий в состоянии растительности, в том числе и временных изменений, а также сводит к минимуму влияние атмосферы на качество съёмки. Орбита высотой в среднем 785 км, наличие в миссии двух спутников позволяют проводить повторные съёмки каждые 5 дней на экваторе и каждые 2–3 дня в средних широтах. Ширина полосы съёмки – 290 км. Первый спутник был запущен в 2015 г. Увеличение ширины полосы обзора наряду с высокой повторяемостью съёмок позволяет отслеживать быстро изменяющиеся процессы, например, изменение характера растительности в течение вегетационного периода. Данные Sentinel-2 обеспечивают сервисы GMES, связанные с управлением земельными ресурсами, сельскохозяйственным производством и лесным хозяйством, а также мониторингом стихийных бедствий и гуманитарных операций. Уникальность миссии Sentinel-2 связана с сочетанием большого территориального охвата, частых повторных съёмок и, как следствие, систематическим получением полного покрытия всей Земли мультиспектральной съёмкой высокого разрешения [9].

Таким образом, используя снимки с этих аппаратов, можно оперативно получать и тематически обрабатывать информацию о больших территориях (в нашем случае создано 7 полных покрытий и мозаики содержат 4 канала – ближний ИК, красный, зеленый, голубой).

Список полученных покрытий

List of acquired coverages

<i>Дата покрытия</i>	<i>Использованные спутники</i>
02.05.2018	PlanetScope
26.05.2018	PlanetScope
29.06.2018	PlanetScope
30.07.2018-31.07.2018	PlanetScope
01.09.2018	PlanetScope
24.09.2018	PlanetScope
05.02.2019	Sentinel-2
04.03.2019	PlanetScope

В качестве постоянных объектов мониторинга были рассмотрены участки задекларированных вырубок (259 участков). Данные о контурах вырубок в формате ведомостей координат были получены от всех лесопользователей, имеющих договора аренды в Добрянском лесничестве. В качестве опорных данных были получены векторные слои выделов и кварталов от Министерства природных ресурсов Пермского края на территорию всего лесничества.

Для объединения пространственной и атрибутивной информации были созданы база геоданных и проект ArcGIS. Этот проект использовался как базовая подложка при поиске, анализе снимков, проверке и формировании отчетов, а также при создании дополнительных слоев.

Для создания объектов постоянного мониторинга были оцифрованы контура объектов из приложения №4 лесной декларации с использованием таблиц румбов и промеров. При построении объектов заносились значения, описывающие местоположения объекта (лесничество, участковое лесничество, номер квартала, номера выделов(а)).

Для выполнения регулярного ежемесячного мониторинга были отобраны максимально безоблачные снимки, из которых собирались полные покрытия рассматриваемой территории. Приоритетным источником являлись снимки PlanetScope.

Формирование заказов и загрузка снимков PlanetScope производится через картографический сервис <https://www.planet.com/explorer/>, на котором доступны фильтры по территории, что дает возможность выбирать отдельные снимки и формировать заказы. Функционал позволяет в кратчайшие сроки выбрать необходимые снимки для анализа. Выбор и загрузка снимков происходили вручную, чтобы минимизировать количество загружаемых сцен (и, следовательно, их общую стоимость).

Снимки Sentinel-2 для удобства разбиваются на «тайлы» и именуется специальным образом. Территория исследования покрывается участками 40VDL, 40VEL, 40VDK, 40VEK. Копирование производилось через сервис <https://earthexplorer.usgs.gov/>, где можно найти, просмотреть и выбрать для загрузки необходимые космоснимки. Загрузка выбранных снимков происходит с помощью специальной программы Bulk Download Application, предоставляемой USGS. Отбор снимков также производился вручную.

Данные PlanetScope распространяются в формате GeoTIFF. Для сбора всех скачанных снимков создана специальная модель, которая позволяет указать корневую папку, где будет проходить поиск снимков (рекурсивно) и тип снимков для поиска (прошедшие предварительную калибровку или нет). В каждом наборе уже содержатся все необходимые каналы, включая ближний ИК, что позволяет исключить операцию слияния отдельных

каналов. Для создания полного покрытия была создана модель, которая принимает на вход все найденные снимки и объединяет их.

Напротив, данные Sentinel-2 распространяются в формате JP2, и каждый растр представляет собой отдельный канал. Для дальнейшей обработки для каждого снимка производилось объединение каналов, после чего собиралось единое многоканальное покрытие. Логика работы модели следующая. Сначала находится синий канал в каждой папке со снимком, далее с помощью замены вычисляются пути к остальным каналам, имеющим пространственное разрешение 10 м. На выходе модель создает один многоканальный растр для каждого снимка.

Созданный набор инструментов минимизирует участие пользователя в процессе подготовки покрытий. Для работы моделей требуется только подбор и загрузка необходимых снимков. Использование данных инструментов позволило существенно сократить время на подготовку покрытий для анализа, особенно для снимков PlanetScope.

Наиболее распространённые и изученные [14–16] методы для оценки состояния растительности – вегетационные индексы [17–20]. Так как снимки PlanetScope имеют только 4 спектральных канала, для выявления изменений необходимо было использовать индекс, в котором задействованы только эти диапазоны. Этому условию удовлетворяет индекс TVI [3; 10]. Формулы (1, 2) для его расчета представлены ниже [14]:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}, \quad (1)$$

$$TVI = \sqrt{NDVI + 0.5}. \quad (2)$$

Функционально он связан с NDVI, но позволяет избавиться от отрицательных значений и нормализовать гистограмму распределения его значений [12].

Непосредственно для выявления изменений создавался растр разности значений индекса за разные даты. После расчета разности необходимо было подобрать порог для выделения негативных изменений. Изначальное значение выбиралось по формуле (3) [11]

$$V = D_r.mean + 0.5 * \sigma, \quad (3)$$

где V – значение порога, $D_r.mean$ – среднее значение «разностного» растра, σ – среднее квадратичное отклонение растра изменений. При первой итерации модели проверялась адекватность полученных изменений, и при необходимости пороговое значение корректировалось.

На рис. 2 показана динамика вырубки на снимке, а на рис. 3 – ее отображение в разностном растре. Полученные объекты векторизовались и фильтровались по площади. Были удалены все объекты площадью менее 100 м². Весь процесс автоматизирован с помощью модели, которая в результате создает векторный слой обнаруженных изменений. Последней операцией была визуальная проверка оператором на наличие грубых ошибок.

Районы с высокой облачностью были исключены из автоматического мониторинга. Выявление изменений на таких участках выполнялось вручную, по мультитременному композиту. Индекс TVI, как и другие вегетационные индексы, чувствителен к облачности и выделяет ее как изменения. Эти ошибки фильтровались вручную на этапе удаления грубых ошибок. Частично этот недостаток нивелировался созданием максимально безоблачных покрытий за каждый месяц. Единственный месяц, когда не удалось создать покрытие с процентом облачности менее 10%, – это октябрь.

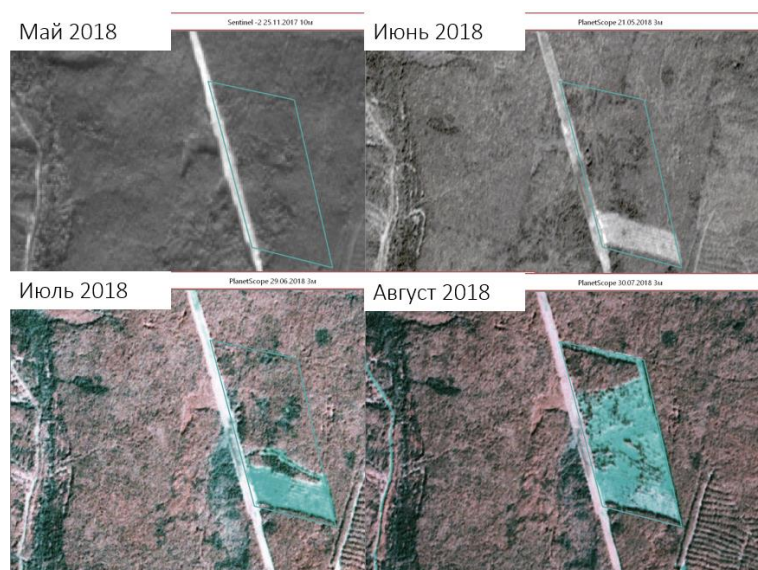


Рис. 2. Динамика вырубki одной из делянок
 Fig. 3 Plot logging dynamics

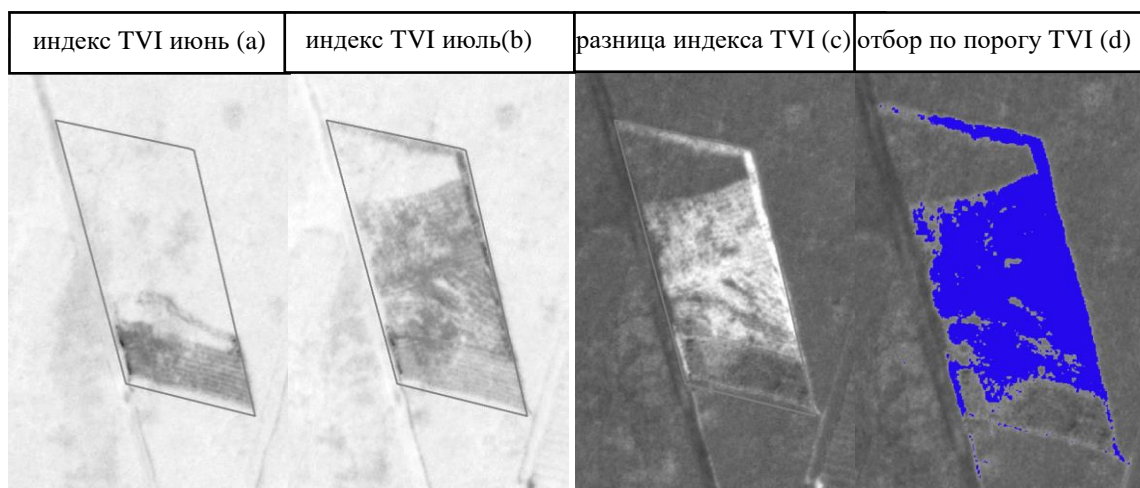


Рис. 3. Вид делянки: a,b – на индексном изображении; c – на разностном изображении;
 d – результат отбора по пороговому значению
 Fig. 3. The plot on index raster (a,b), on difference raster (c) and the threshold selection result (d).

Результаты и их обсуждение

На сегодняшний день на территории лесничества не выявлено крупных пожаров, усыханий, ветровалов. Основным источником изменений является промышленная заготовка леса. Сводные результаты представлены на рис. 4. Наибольший объем древесины был вырублен ООО «Уралбумага» и ее подрядными организациями.

Среди всех постоянных объектов мониторинга было выявлено порядка 20 нарушений площадью 10 га. Основной причиной ошибок являлись неточности при отведении участка под рубку на местности, форму которого можно проверить с помощью снимков как Planet, так и Sentinel. С помощью данных Planet можно оценить правильность отвода даже выборочных рубок и площадных больше 0,15 га. По каждому случаю нарушения был подготовлен картографический отчет и переданы материалы заказчику для проведения внутренней проверки.

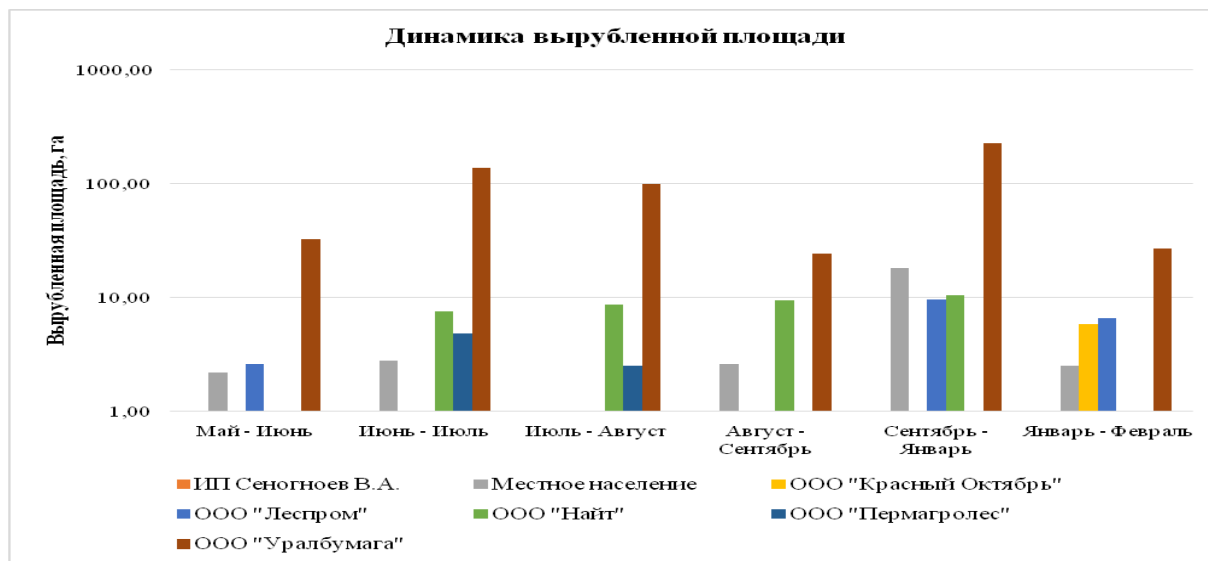


Рис. 4. Площади вырубок леса по арендным участкам

Fig. 4. Forest logging areas by leasehold plots

По всем остальным выявленным изменениям формировались картографические отчеты в автоматическом режиме, на которых показывались контур делянки, квартальная сеть и атрибутивная информация об объекте. Программа для выгрузки была написана на языке программирования Python с базовым графическим интерфейсом и возможностью запуска команд из окна интерпретатора. Она позволяет, на основе пространственного анализа, извлекать значения атрибутов в заранее созданную компоновку с помощью модуля ArcPy, настроить стилизацию и сформировать отчет. Графический интерфейс реализован с помощью стандартной библиотеки Tkinter. Общая реализация алгоритма осуществляется с помощью создания специального класса "report_exporter".

Она была интегрирована в программу ArcMap благодаря встроенному интерпретатору. Наличие графического интерфейса позволило быстро исправлять ошибки и выгружать «нетипичные» случаи. Основной массив карточек был выгружен программой автоматически. Всего было сформировано 145 отчетов (рис. 5).

На сегодняшний день самым эффективным способом распространения информации, в том числе и пространственной, является Интернет. В оперативном картографировании передача информации таким способом является приоритетной, так как позволяет быстро отражать изменения в данных и сократить время на получение информации заказчиком. Однако вследствие специфики полученных данных было принято решение не публиковать их на картографическом сервисе, а предоставлять их в формате pdf.

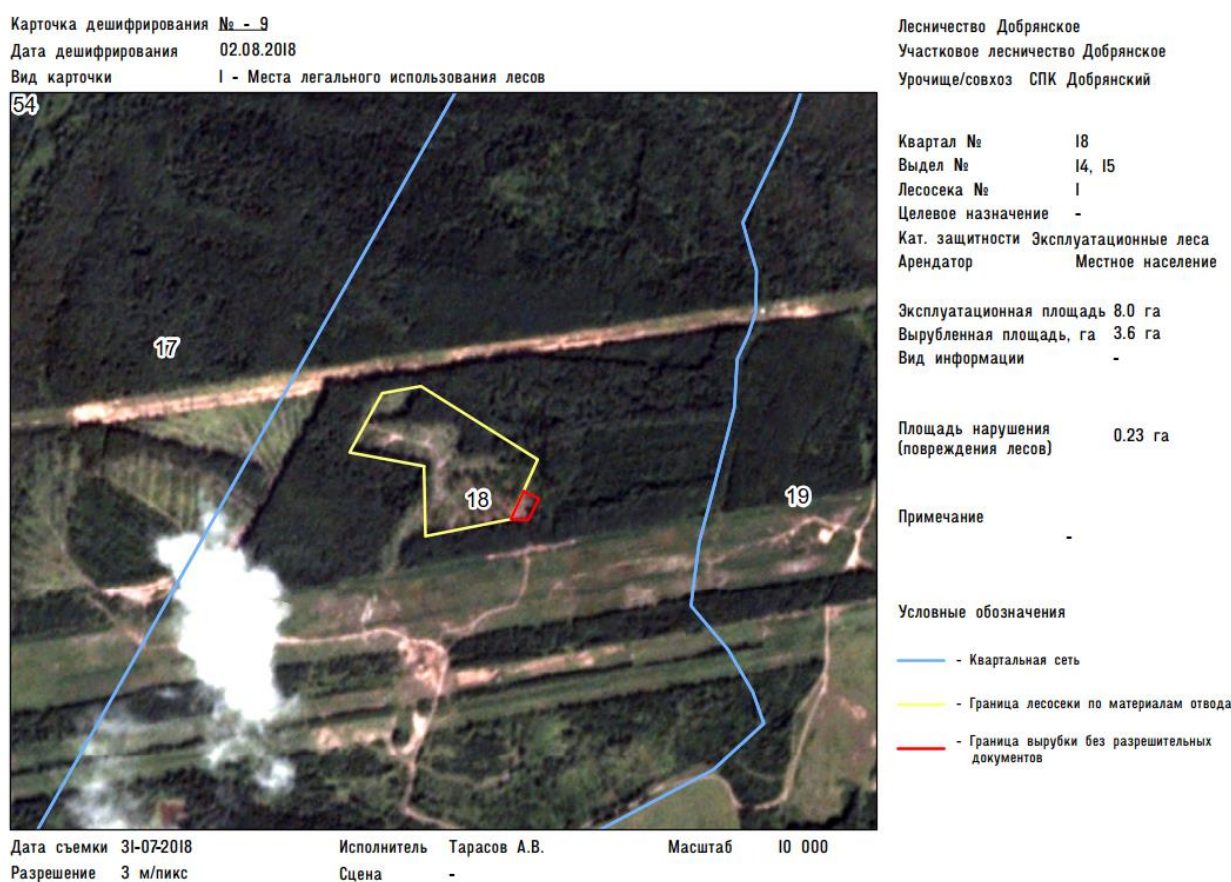


Рис. 5. Пример сформированного картографического отчета
 Fig. 5 Sample of the generated cartographic report

Заключение

Результаты данного пилотного проекта позволяют сделать вывод о возможности использования данных PlanetScope и Sentinel-2 для оперативного картографирования лесохозяйственной деятельности на региональном уровне. Использование вегетационных индексов для обработки обеспечивает автоматизацию процесса выявления негативных изменений в лесах. Создание программы для формирования картографических отчетов сокращает время на получение окончательных результатов и представляет их в форме, удобной для специалистов из других сфер. Внедрение оперативного картографирования в лесохозяйственную деятельность позволяет объективнее контролировать процесс заготовки древесины, быстро реагировать на изменения и предотвращать нарушение лесного законодательства [4]. Представление рабочего процесса с помощью нескольких частей, которые автоматизированы с помощью несложных моделей и скриптов, дают возможность существенно сократить временные затраты на выполнение задачи. Получение выходных картографических материалов для всего тестового участка, начиная от поиска снимков до формирования материалов для отправки заказчику, занимает 2 дня. Для выполнения работы требуется один оператор.

Можно выделить 3 основных ограничения в разработанной методике оперативного картографирования. Во-первых, в осенние месяцы из-за преобладания сплошной облачности невозможно получить снимки с требуемой частотой (каждый месяц). Это ограничение может быть преодолено с помощью использования данных радиолокационной съемки, однако стоимость таких данных многократно выше, чем у снимков PlanetScope. Вторым ограничением является сложность выделения выборочных вырубok в лесах, которые почти

не детектируются с помощью индексов. Человеческий фактор также вносит вклад в снижение точности выходных данных за счет пропуска некоторых объектов и фиксации ложных изменений. Разработка метода выявления изменений на основе сверточных нейронных сетей может снизить влияние вышеперечисленных факторов. Эти два направления могут стать дальнейшим вектором в развитии данного исследования.

Таким образом, использование данных PlanetScore и Sentinel-2 позволяет существенно увеличить пространственное и временное разрешение оперативного картографирования лесохозяйственной деятельности на региональном уровне, а также нивелировать дисбаланс между этими двумя показателями, присущий системам большего территориального охвата.

Библиографический список

1. *Амурский информационный сервис*. [Электронный ресурс] URL: <https://amurinfocenter.org/tools/projects/sistema-kedr/> (дата обращения: 10.11.2018).
2. *Берлянт А.М.* Картография. М: Аспект Пресс, 2001.
3. *Воронина П.В., Мамаш Е.А.* Классификация тематических задач мониторинга сельского хозяйства с использованием данных дистанционного зондирования MODIS // *Вычислительные технологии*. 2014. №3. С. 76–97.
4. *Деловой интерес* – газета предпринимателей Пермского края [Электронный ресурс] URL: <http://delint.ru/vlast/10481-v-prikame-sokratilsya-obem-nezakonnoy-rubki-lesov.html> (дата обращения: 08.11.2018).
5. *Журнал Геоматика* [Электронный ресурс] URL: <http://geomatika.ru/clauses/281/> (дата обращения: 04.03.2018).
6. *Компания NextGIS* [Электронный ресурс] URL: <http://nextgis.ru/blog/winter-alarm/> (дата обращения: 11.11.2018).
7. *Компания Совзонд* [Электронный ресурс] URL: <https://sovzond.ru/press-center/news/market/3203/> (дата обращения: 14.11.2018).
8. *Лулян Е.А., Барталев С.А., Балашов И.В., Барталев С.С., Бурцев М.А. и др.* Информационная система комплексного дистанционного мониторинга лесов «Вега-Приморье» // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2016. №5. С. 11–28.
9. *Новости космической деятельности* [Электронный ресурс] URL: <https://ecoruspace.me/Серия+Sentinel+2.html.html> (дата обращения: 23.10.2018).
10. *Черепанов А.С.* Вегетационные индексы // *Геоматика*. 2011. №2. С. 10–15.
11. *Kefalas G., Panteleimon X. and Roxanne S.L.* The use of vegetation indices and change detection techniques as a tool for monitoring ecosystem and biodiversity integrity // *Int. J. Sustainable Agricultural Management and Informatics*. 2018. Vol.4. P. 47–64.
12. *Mroz M. and Sobieraj A.* Comparison of several vegetation indices calculated on the basis of a seasonal spot xs time series, and their suitability for land cover and agricultural crop identification // *Technical sciences*. 2004. Vol. 7. P. 40–68.
13. *Thenkabail P. S., Lyon John G., Huete Alfredo.* Hyperspectral remote sensing of vegetation. Broken Sound Parkway NW, Suite 300, 2012. 663 с.
14. *Ustin S.L., Smith M. O., Jacquemoud S., Verstraete M., Govaerts Y.* Geobotany: Vegetation Mapping for Earth Sciences. 1996.
15. *Yao X., Zhu Y., Tian Y.C., Feng W., and Cao W.X.* Exploring hyperspectral bands and estimation indices for leaf nitrogen accumulation in wheat // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2010. Vol. 12(2). P. 89–100.
16. *Zarco-Tejada P.J., Miller J.R., Morales A., Berjon A. and Aguera J.* Hyperspectral Indices and Model Simulation for Chlorophyll Estimation in Open Canopy Tree Crops // *Remote Sensing of Environment*. 2004. Vol. 90(4). P. 463–476.

17. Zarco-Tejada P.J., Berjón A., López-Lozano R., Miller J.R., Martín P., Cachorro V., González M.R., and de Frutos A. Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: Leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy // *Remote Sensing of Environment*. 2005. Vol. 99: P. 271–287.
18. Zeng Z.Y. *Research on Computer Classification of Satellite Images and Application in Geo-science*. Beijing: Science Press. 2004.
19. Zhao D., Huang L., Li J., Qi J. A comparative analysis of broadband and narrowband derived vegetation indices in predicting LAI and CCD of a cotton canopy.// *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2007. Vol. 62(1). P. 25–33.
20. ZhuJun G. and Dongsheng Y. Estimation models of vegetation fractional coverage (VFC) based on remote sensing image at different radiometric correction levels // *The journal of applied ecology*. 2012. Vol.19. P. 1–7.

References

1. The Amur information center (2016), “The Kedr information system”, available at www.amurinfocenter.org/tools/projects/sistema-kedr/, (Accessed 10 October 2018).
2. Berljant, A.M. (2001), *Cartography* [Cartography], Aspect Press, Moscow, Russia.
3. Voronina, P.V., Mamash, E.A. (2014), “Classification of thematic monitoring for agriculture problems using remote sensing MODIS data”, *Computational Technologies*, no. 3, pp. 76–97.
4. Business interest - magazine of businessmen of the Perm region (2015), “In the Perm Region has decreased illegal logging volume”, available at www.delint.ru/vlast/10481-v-prikame-sokratilsya-obem-nezakonnoy-rubki-lesov.html, (Accessed 08 October 2018).
5. Geomatica journal (2014), “Technologies for monitoring deforestation using satellite imagery”, available at www.geomatica.ru/clauses/281/, (Accessed 04 March 2018).
6. NextGIS Company (2011), “System for the operational detection of winter logging according to remote sensing”, available at www.nextgis.ru/blog/winter-alarm/ (Accessed 11 November 2018).
7. Sovzond Company (2011), “PlanetScope Imagery – satellite farmer assistant”, available at www.sovzond.ru/press-center/news/market/3203/ (Accessed 14 November 2018).
8. Loupian E.A. etc al. (2016), “Vega-Primorie: complex remote forest monitoring information system”, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, no.5, pp. 11–28.
9. News of space activities (2003), “Satellites. Sentinel-2 constellation”, available at www.ecoruspace.me/Серия+Sentinel+2.html, (Accessed 23 October 2018)
10. Cherepanov, A.S. (2011), “Vegetation indexes”, *Geomatica*, no. 2, pp. 10–15.
11. Kefalas, G., Panteleimon, X. and Roxanne, S.L., (2018), “The use of vegetation indices and change detection techniques as a tool for monitoring ecosystem and biodiversity integrity”, *Int. Journal of Sustainable Agricultural Management and Informatics*, vol.4, pp. 47–64.
12. Mroz, M. and Sobieraj, A. (2004), “Comparison of several vegetation indices calculated on the basis of a seasonal spot xs time series, and their suitability for land cover and agricultural crop identification”, *Technical sciences*, vol. 7, pp. 40–68.
13. Thenkabail, P. S., Lyon John, G., Huete, A., (2012), “*Hyperspectral remote sensing of vegetation*”, CRC Press, Boca Raton, USA.
14. Ustin, S.L., Smith, M. O., Jacquemoud, S., Verstraete, M., Govaerts, Y. (1999), “Geobotany: Vegetation Mapping for Earth Sciences”, *Remote Sensing for the Earth Sciences*, vol.3, pp. 189–248.
15. Yao, X., Zhu, Y., Tian, Y.C., Feng, W., and Cao, W.X. (2010), “Exploring hyperspectral bands and estimation indices for leaf nitrogen accumulation in wheat”, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 12, no.2, pp. 89–100.

16. Zarco-Tejada, P.J., Miller, J.R., Morales, A., Berjon, A. and Aguera, J. (2004), "Hyperspectral Indices and Model Simulation for Chlorophyll Estimation in Open Canopy Tree Crops", *Remote Sensing of Environment*, vol. 90, no. 4, pp. 463–476.
17. Zarco-Tejada, P.J., Berjón, A., López-Lozano, R., Miller, J.R., Martín, P., Cachorro, V., González, M.R., and de Frutos, A. (2005), "Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: Leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy", *Remote Sensing of Environment*, vol. 99, no. 3, pp. 271–287.
18. Zeng, Z. Y. (2004), "Research on Computer Classification of Satellite Images and Application in Geo-science", Science Press, Beijing, CN.
19. Zhao, D., Huang, L., Li, J., Qi, J. (2007), "A comparative analysis of broadband and narrowband derived vegetation indices in predicting LAI and CCD of a cotton canopy", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 62, no. 1, pp. 25–33.
20. Zhujun G. and Dongsheng Y. (2008), "Estimation models of vegetation fractional coverage (VFC) based on remote sensing image at different radiometric correction levels", *The journal of applied ecology*, vol.19, no.6, pp. 1–7.

Поступила в редакцию: 24.05.2019

Сведения об авторе

Тарасов Андрей Владимирович

аспирант, ассистент кафедры картографии и геоинформатики, Пермский государственный национально-исследовательский университет;
Россия, 614990, г. Пермь,
ул. Букирева, 15

About the authors

Andrey V. Tarasov

Postgraduate Student, Assistant, Department of Cartography and Geoinformatics, Perm State University;
15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia

andrew.tarasov1993@gmail.com

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Тарасов А.В. Применение оперативного картографирования при ведении лесохозяйственной деятельности // Географический вестник = Geographical bulletin. 2019. №3 (50). С. 134–145. doi 10.17072/2079-7877-2019-3-134-145.

Please cite this article in English as:

Tarasov A.V. Application of operational mapping in the forest operations management // Geographical bulletin. 2019. №3(50). P. 134–145. doi 10.17072/2079-7877-2019-3-134-145.