

УДК 004.9

DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/0203-377131201687132>Мозговой Д. К.<sup>1</sup>, кандидат технических наук, Васильев В. В.<sup>2</sup>, аспирант**МОНИТОРИНГ ВЫРУБОК ЛЕСОВ ПО КОСМОСНИМКАМ**

**En** According to the data presented by the Brazilian government, the indicator of tropical rainforests felling of the Amazon River increased by 28% from August, 2012 to July, 2013 – 5843 square kilometers of the tropical forests were destroyed. For this increase, environmentalists blame slackening of sanctions imposed on companies dealing with development of infrastructure, including building of dams, dikes, highways and railroads.

There are several causes speeding up felling rainforests of the Amazon: increase of export of Brazilian beef (60% of the deforested land is used for cattle breeding); ever growing manufacture of soy beans and cereals in Brazil; commercial and illegal logging; commercial and illegal manufacturing of charcoal; unsanctioned expansion of pastures; construction of big enterprises and electric power plants, expansion of cities, etc.; construction of new highways and railroad; illegal growing of coca bush in Columbia.

Felling forest in the Amazon basin is a global problem because the Amazon rainforest plays a key role in the hydrological and climate systems of the Earth and strongly influences the global climate. Forests absorb around a third of the carbon emission from burning fossil fuels (they take out of the atmosphere approximately 2.4 billion tons of carbon a year). In order to reduce the pace of the climate change at least a little, felling of the Amazon rainforests has to be minimized.

For the vast forest territories of the Amazon, characterized by the wide variety of species and difficult access, the most efficient way of monitoring is the use of remote sensing satellites. Modern earth observation satellites are capable of providing the most prompt and reliable information about the current state of the forest and economic activities related to it on any most remote territory, which is unachievable with observations on the ground. The main purpose of the satellite monitoring is control over compliance with the main requirements of the legislation on wild and protected forests, as well as compliance with the rules of forest exploitation.

The main tasks of satellite monitoring of the Amazon rainforests felling are: detection of territories and determination of areas of illegal felling; detection of violations of acting rules in allocating of plots for industrial or sanitary felling; monitoring of the activities on the territories damaged by rainforest felling; analysis of consequences of the felling – monitoring of the dynamic and nature of changes (soil erosion, restoration of vegetation, swamp formation, etc.).

**Ua** Наведено результати обробки та аналізу багатоспектральних супутникових знімків середнього і високого просторового розрізнення з метою оцінки динаміки і наслідків вирубок тропічних лісів Амазонки на території Бразилії. В ході досліджень виявлено суттєві пошкодження лісу

<sup>1</sup> Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

<sup>2</sup> Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

внаслідок систематичних багаторічних вирубок на обраній території моніторингу.

### **Введение**

По данным, предоставленным бразильским правительством, показатель вырубки тропических лесов Амазонки с августа 2012 года по июль 2013 года вырос на 28 % – были уничтожены 5843 квадратных километра тропического леса.

Основные причины, ускоряющие вырубку тропических лесов Амазонки:

- увеличение экспорта бразильской говядины (60 % лишённой лесного покрова земли используются для разведения рогатого скота);
- постоянно растущее производство сои и зерновых культур в Бразилии;
- коммерческая и браконьерская заготовка древесины;
- коммерческое и нелегальное производство древесного угля;
- несанкционированное расширение площадей пастбищ;
- строительство крупных производств, электростанций, расширение городов;
- прокладка новых автомагистралей и железных дорог;
- нелегальное производство кокаинового куста в Колумбии.

Вырубка леса в бассейне Амазонки – это глобальная проблема, потому что тропический лес Амазонки играет ключевую роль гидрологической и климатической системы Земли и оказывает значительное влияние на мировой климат. Леса поглощают приблизительно одну треть эмиссии ископаемого топлива (приблизительно 2,4 миллиарда тонн углерода ежегодно они выводят из атмосферы). И для того, чтобы хоть немного снизить темпы изменения климата, глобальная вырубка тропических лесов Амазонки должна быть сведена к минимуму.

### **Постановка проблемы**

Для обширных лесных территорий Амазонки, отличающихся труднодоступностью, наиболее эффективным является мониторинг с использованием спутников ДЗЗ [1] – [5]. Современные спутники ДЗЗ позволяют получать наиболее оперативную и достоверную информацию о состоянии лесов и связанной с ними хозяйственной деятельности на любой самой удаленной территории, что недостижимо при наземных обследованиях [6] – [9]. Основной целью спутникового мониторинга

является контроль соблюдения основных положений законодательства по охране диких и заповедных лесов, а также правил лесопользования.

### **Цель исследований**

Основные задачи спутникового мониторинга вырубок тропических лесов Амазонки:

- обнаружение территорий и определение площадей незаконных рубок леса;
- выявление нарушений действующих правил при выделении участков под промышленные или санитарные рубки;
- контроль деятельности на территориях, пострадавших от вырубки лесов;
- анализ последствий вырубок – мониторинг динамики и характера изменений (эрозия почвы, восстановление растительности, заболачивание и т.п.).

### **Исходные данные для исследований**

В ходе исследований был проведен спутниковый мониторинг вырубок тропических лесов Амазонки в выбранном регионе Бразилии. Основные требования к спутниковым снимкам, используемым для мониторинга вырубок:

- обрабатываемые снимки должны быть на одну и ту же территорию;
- снимки должны быть получены в один и тот же сезон;
- съемка должна быть произведена однотипными съемочными системами (сравнение снимков возможно только при условии соответствия спектральных диапазонов используемых съемочных систем);
- снимки должны быть одинакового или близкого разрешения, иначе снимки будут содержать различную информацию об объектах.

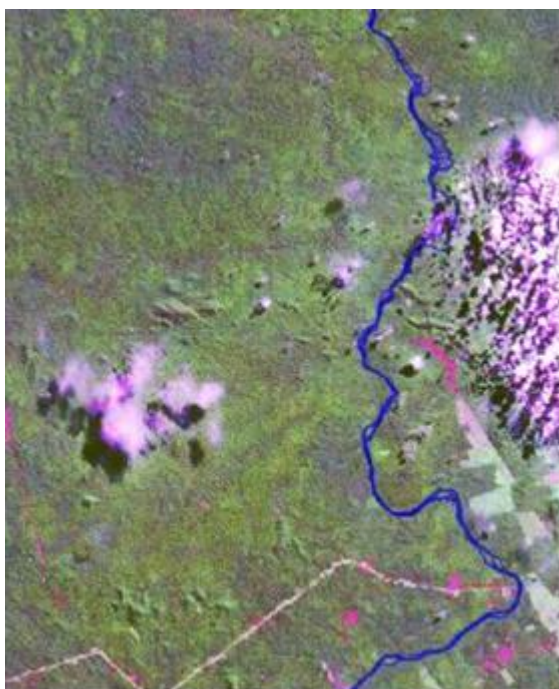
Для спутникового мониторинга вырубок тропических лесов Амазонки можно использовать мультиспектральные снимки среднего разрешения со спутников *Landsat 7* (съемочный прибор *ETM*) и *Landsat 8* (съемочный прибор *OLI*) [10]. Они имеют соответственно 8 и 11 спектральных каналов с разрешением 15м (панхроматический канал), 30м (каналы видимого, ближнего и среднего ИК диапазонов) и 100м (каналы дальнего ИК диапазона), расположенных в окнах прозрачности атмосферы.

**Методика исследований**

Для работы были использованы мультиспектральные снимки заданного участка со спутников Landsat 7 за 2002 г. и Landsat 8 за 2013 г.

Снимки со спутника Landsat 7 имели небольшой процент облачности, а снимки со спутника Landsat 8 были практически без облачности. Поэтому для корректного сравнения разновременных снимков и точного определения площади вырубок возникла необходимость маскирования облачных пикселей.

Для визуальной оценки площади вырубки тропических лесов был выполнен спектральный синтез с использованием каналов видимого и ИК диапазонов (рис. 1).



*а. Landsat 7, 2002 г.*



*б. Landsat 8, 2013 г.*

Рис. 1. *RGB*-синтез каналов видимого ИК-диапазона по снимкам *Landsat*

На синтезированных изображениях участки вырубок отчетливо выделяются на фоне растительности благодаря использованию каналов ИК-диапазона.

NDVI рассчитывается по формуле  $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$ . Порог бинаризации находится в пределах 0,2...0,4 и зависит от сезона съемки. Использование NDVI вместо контролируемой классификации позволяет полностью автоматизировать обработку снимков.

По сравнению с кластеризацией (например, ISODATA) использование NDVI требует гораздо меньше времени на вычисления и дает более устойчивый результат.

### **Результаты исследований**

Для количественной оценки площади вырубки тропических лесов была выполнена обработка снимков заданного участка со спутников Landsat 7 за 2002 г. и Landsat 8 за 2013 г., которая включала следующие этапы:

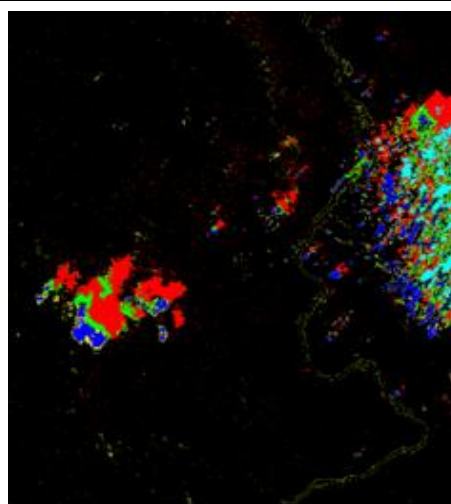
- обрезка снимков по границам заданной территории;
- формирование маски облачности по снимку Landsat 7 (рис. 2);
- создание индексных изображений NDVI по снимку Landsat 7 (рис. 3, *a*) и по снимку Landsat 8 (рис. 4, *a*);
- пороговую бинаризацию индексного изображения по снимку Landsat 7 (рис. 3, *б*) и по снимку Landsat 8 (рис. 4, *б*);
- морфологическую фильтрацию бинарного изображения по снимку Landsat 7 (рис. 3, *в*) и по снимку Landsat 8 (рис. 4, *в*);
- векторизацию бинарного изображения, определение границ и площади растительности по снимку Landsat 7 (рис. 3, *г*) и по снимку Landsat 8 (рис. 4, *г*);
- формирование разностного изображения, бинаризацию, векторизацию и определение границ и площади вырубок (рис. 5);
- визуализацию изменений на цифровой карте, запись атрибутов объектов (площадей вырубок) в dbf-файл и экспорт векторного слоя в kml-файл.

По данным спутников *Landsat*, площадь вырубленного леса на наблюдаемой территории составила около 27 247 гектаров.

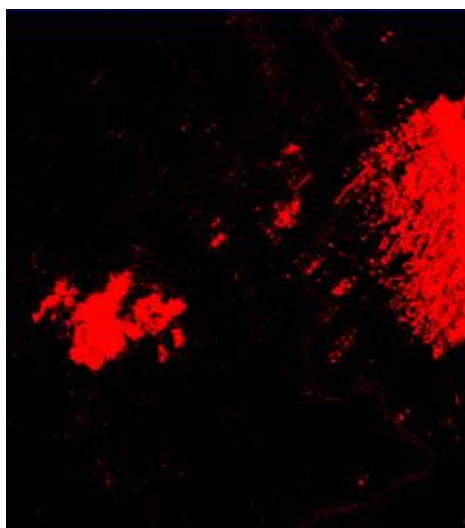
Также был поведен визуальный анализ динамики изменений после вырубки тропического леса под пастбища с использованием спутниковых снимков высокого разрешения (рис. 6).



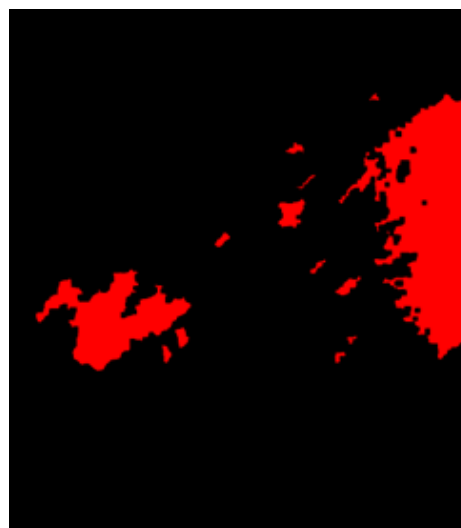
а Исходный снимок



б Результат классификации



в Результат объединения классов



г Результат фильтрации по площади



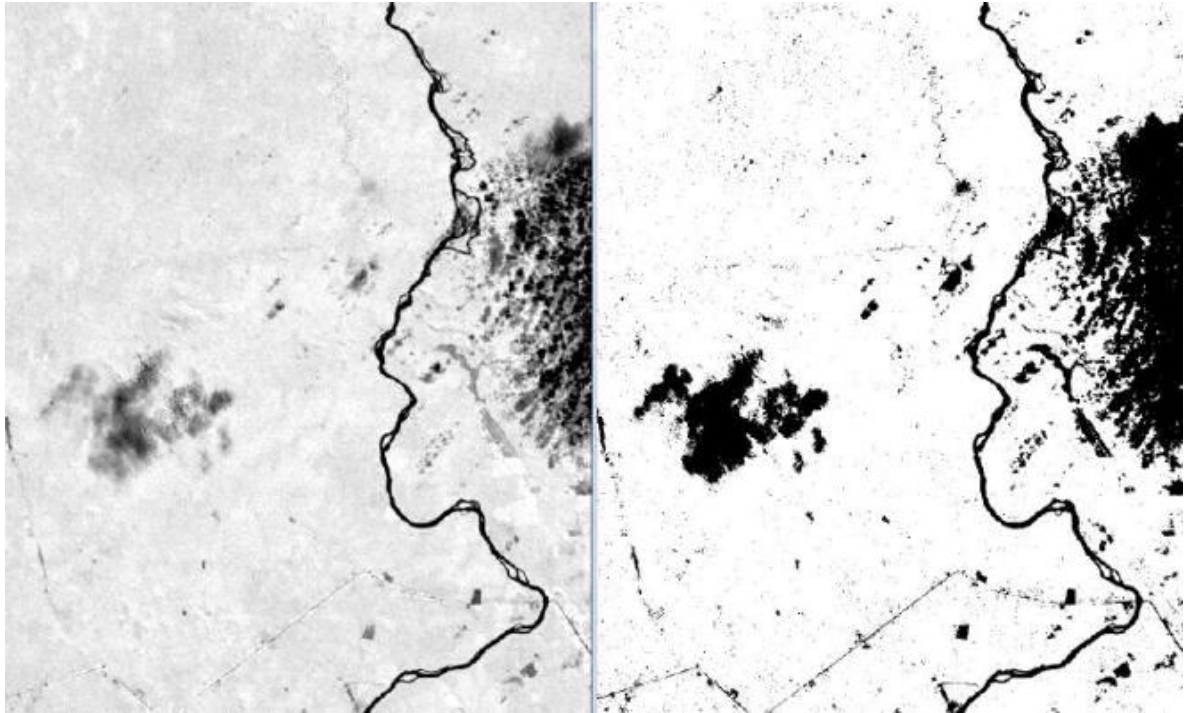
д Векторизация границ облачности



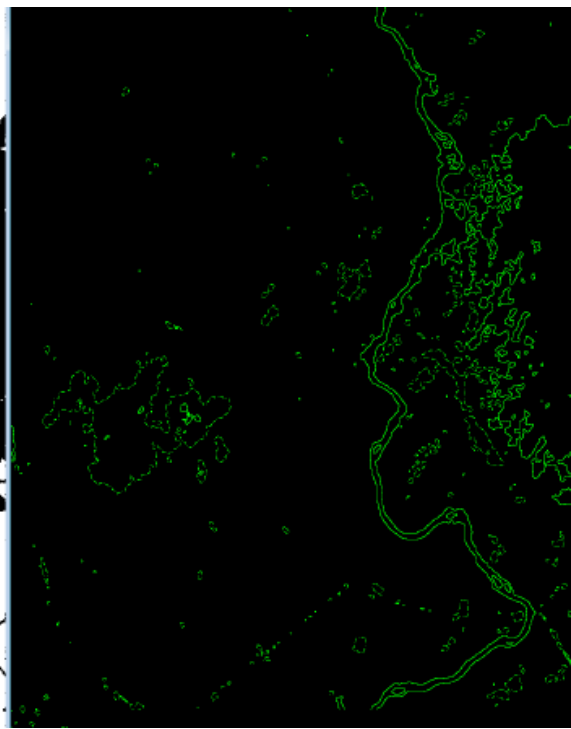
е Формирование маски облачности

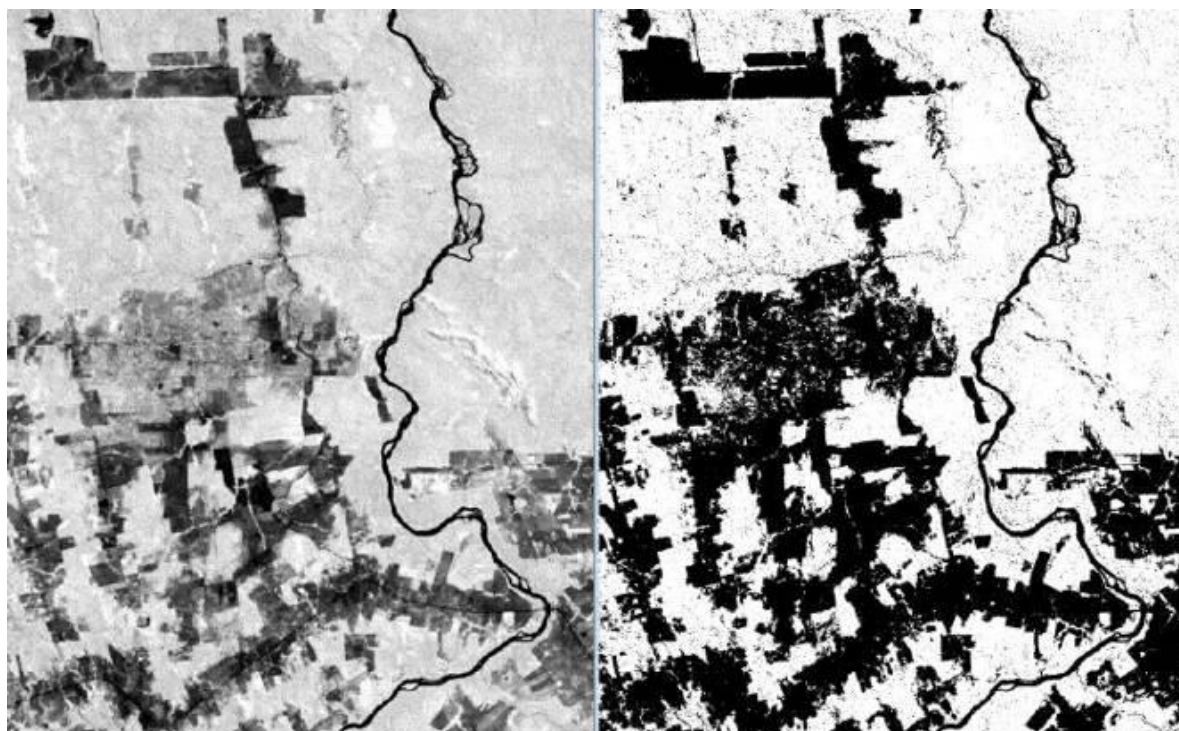
Рис. 2. Формирование маски облачности по снимку *Landsat 7*



а Индексное изображение *NDVI*б Бинарное изображение *NDVI*

в Отфильтрованное бинарное изображение

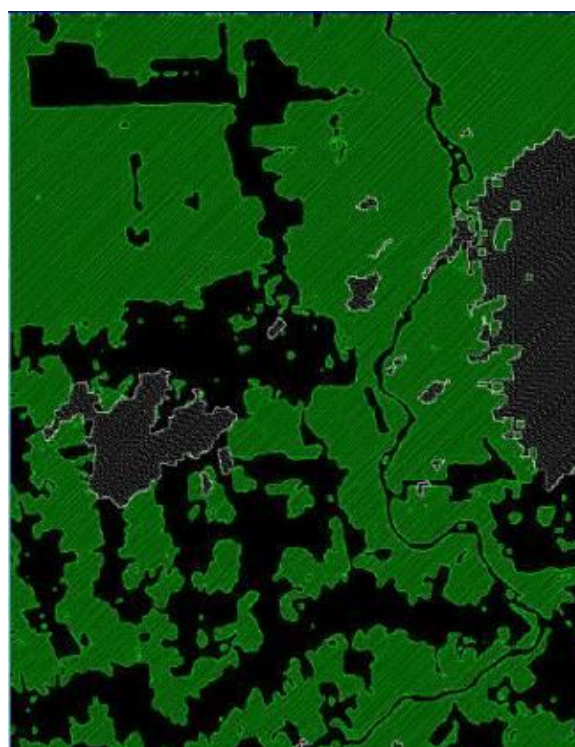
г Векторное изображение *NDVI*Рис. 3. Этапы обработки снимка *Landsat 7*



а Индексное изображение *NDVI*    б Бинарное изображение *NDVI*



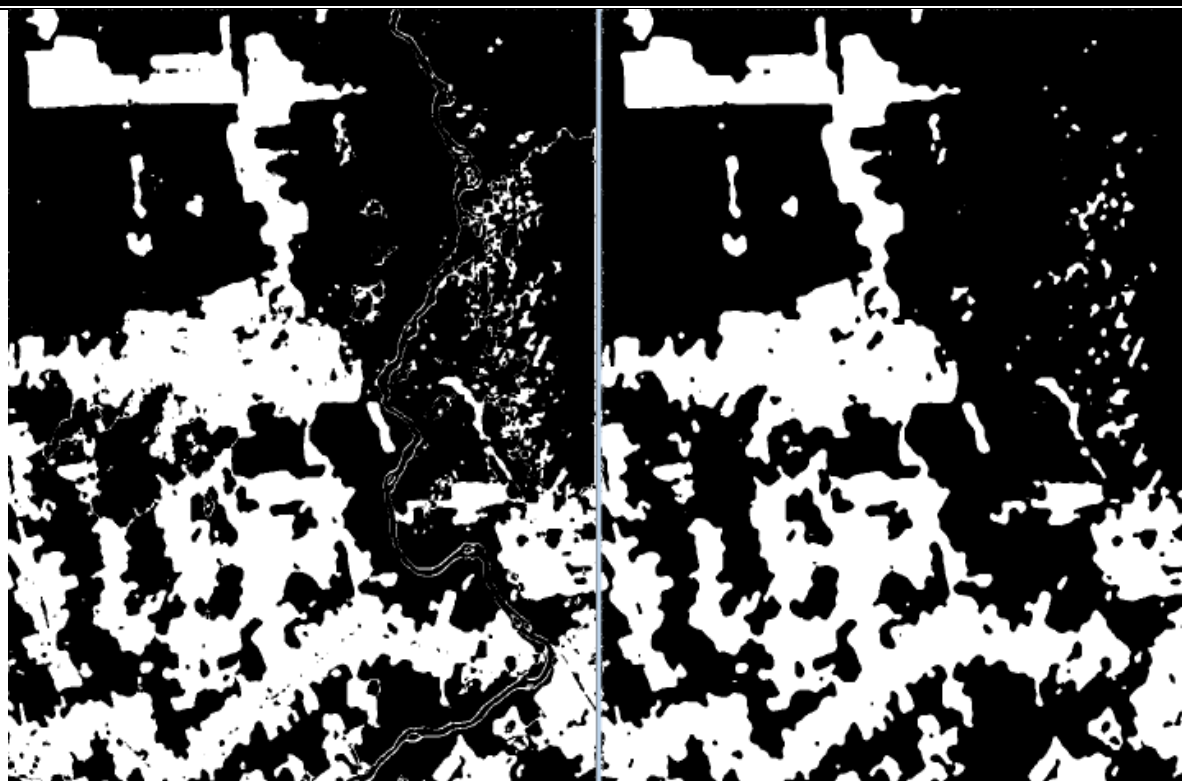
в Отфильтрованное  
изображение



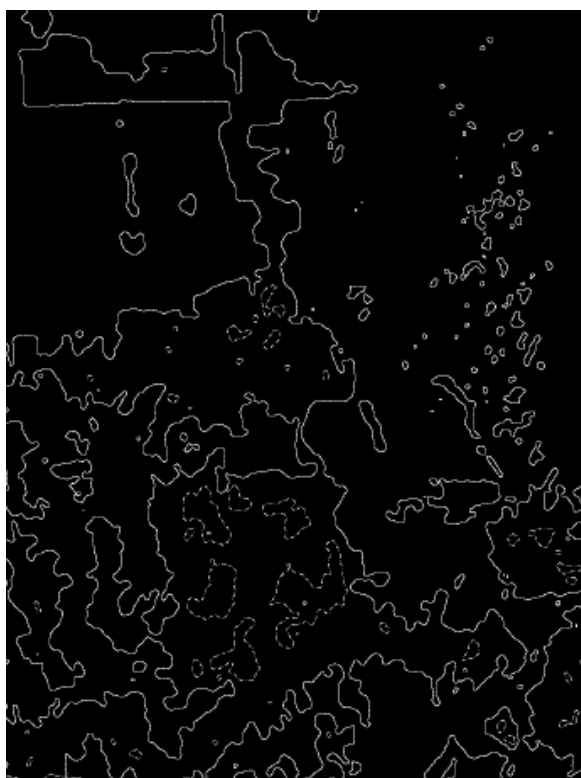
г Векторный слой с маской  
облачности

Рис. 4. Этапы обработки снимка *Landsat 8*



а Разностное изображение *NDVI*

б Отфильтрованное бинарное изображение



в Векторное изображение



г Векторный слой с маской облачности

Рис. 5. Определение границ и площади вырубок по снимкам *Landsat 7* и *Landsat 8*

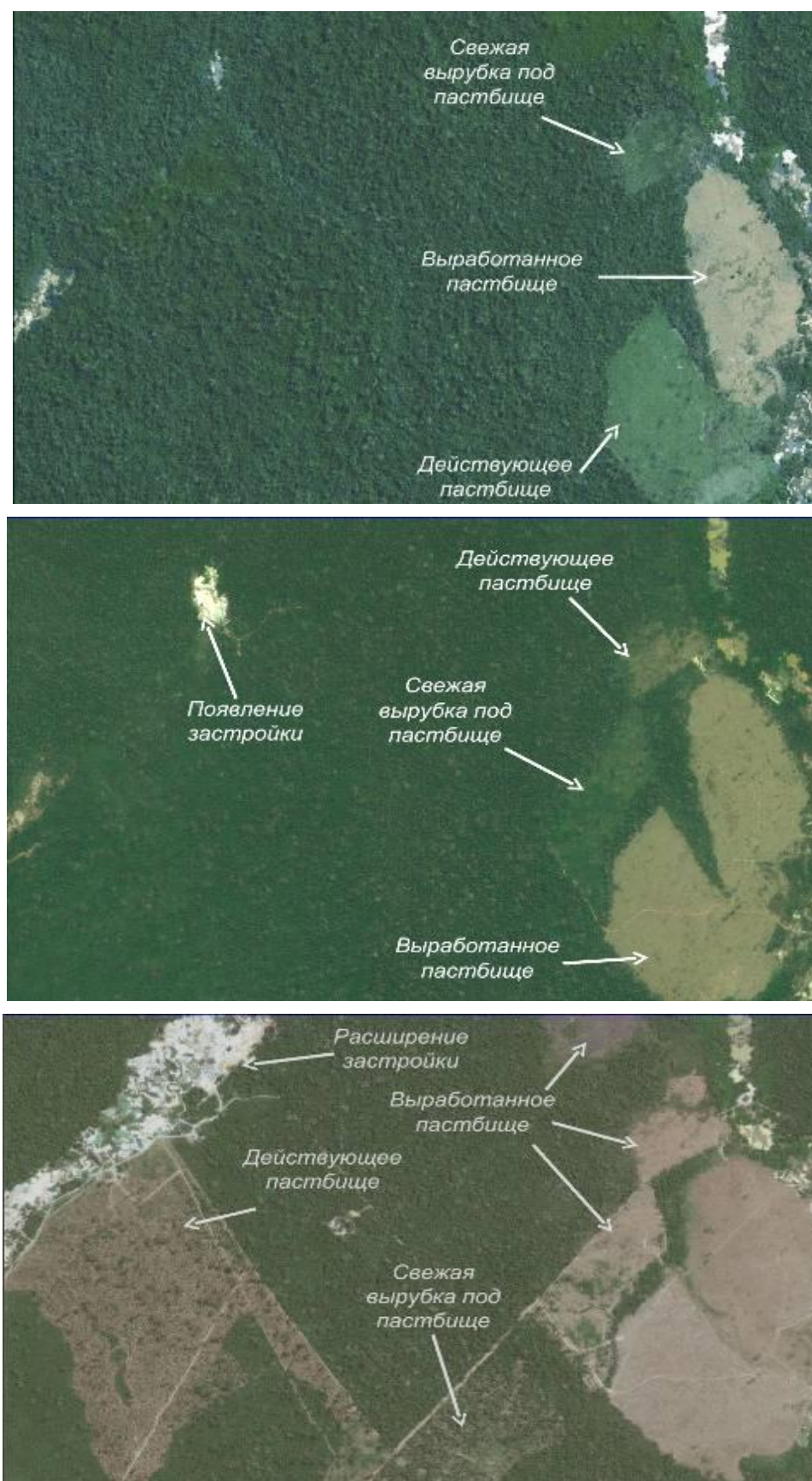


Рис. 6. Границы застройки, вырубок и пастбищ в 2010 ... 2014 г.г.

**Выводы**

Поскольку вырубка леса в бассейне Амазонки – это глобальная проблема, то возникла острая необходимость создания веб-службы регулярного спутникового мониторинга вырубок тропических лесов. Сейчас это стало возможным благодаря доступности спутниковых снимков и современным технологиям их обработки.

Пользователями такой службы могут являться:

- государственные контролирующие структуры (надзор за сельскохозяйственной, строительной и производственной деятельностью в районах тропических лесов);
- полиция (борьба с браконьерами);
- службы по ликвидации ЧС (пожарная служба);
- лесная служба (выявление нарушений действующих правил при выделении участков под промышленные или санитарные рубки);
- муниципальные службы (объективная оценка масштабов и тяжести последствий, определение реального ущерба от вырубки лесов);
- экологическая служба (проведение мероприятий по восстановлению пострадавших территорий);
- телерадиокомпании и др. средства массовой информации (пропаганда борьбы с браконьерами и проведение акций против вырубки тропических лесов);
- население, проживающее вблизи территорий, пострадавших от вырубки тропических лесов (получение объективной и достоверной информации относительно масштабов и тяжести последствий вырубки тропических лесов) – наиболее массовый пользователь.

**Список использованной литературы**

1. *Mozgoviy D. K., Parshina O. I., Voloshin V. I., Bushuev Y. I.* Remote Sensing and GIS Application for Environmental Monitoring and Accidents Control in Ukraine. - *Geographic Uncertainty in Environmental Security / Edited by A. Morris, S. Kokhan.* – Dordrecht: Springer, NATO Public Diplomacy Division, 2007. – P. 259-270
2. *Мозговой Д. К.* Использование данных наблюдения Земли для мониторинга природных ресурсов / Д. К. Мозговой// Наукові читання «Космічні технології на користь стійкого розвитку і безпеки суспільства» 18 травня 2007 р. НЦАОМУ, Дніпропетровськ.

3. Dolinets Y., D. Mozgovoy. Specialists training in ERS. / Y. Dolinets., D. Mozgovoy//Advanced Space Technologies For The Humankind Prosperity. International Conference. - Dnepropetrovsk: Yuzhnoe State Design Office, 2007. – P. 123.
4. *Мозговий Д. К.* Інформаційна система "Агрокосмос" / Д. К. Мозговий, В. І. Волошин// Дистанційне зондування Землі. Інформаційні технології збирання, оброблення та використання даних аерокосмічних спостережень Землі. Збірник наукових статей ДП „Дніпрокосмос”. – Дніпропетровськ: Проспект, 2007. – С. 196-199.
5. *Мозговой Д. К.* Использование многоспектральных снимков для классификации посевов сельхозкультур / Д. К. Мозговой, О. В. Кравец// Екологія та ноосферологія. Науковий журнал. Том 20, №1-2. – Київ - Дніпропетровськ, 2009. – С. 54-58.
6. *Мозговой Д. К.* Підвищення інформативності даних ДЗЗ / Д. К. Мозговой, В. М. Корчинський, О. В. Кравец// Вісник ДНУ. Ракетно-космічна техніка. - 2009. - Вип. 13, т. 2. № 24. – С. 48-54.
7. *Мозговой Д. К.* Использование данных MODIS и ASTER для решения актуальных прикладных задач / Д. К. Мозговой // Международная научно-практическая конференция «Стратегические решения информационного развития экономики и общества». – 17–19 июля 2013 года, п. Научный, Крым. – Тезисы докладов. – С. 113–114.
8. *Мозговой Д. К.* Обработка спутниковых снимков при решении прикладных задач / Д. К. Мозговой // Международный научно-практический форум «Наука и бизнес». - 29-30 июня 2015 года, Днепропетровск. - Тезисы докладов. – С. 191-194.
9. *Мозговой Д. К.* Спутниковый мониторинг лесных пожаров и засухи / Д. К. Мозговой // Международная научно-практическая конференция «Передовые методы обработки и анализа космической информации». – 3-4 декабря 2015 года, Днепропетровск. – Тезисы докладов. – С. 48-53.
10. Спутниковый мониторинг последствий лесных пожаров / В. В. Гнатушенко, Вік. В. Гнатушенко, Д. К. Мозговой, В. В. Васильев // Науковий вісник НГУ, 2016, № 1. С. 70-76.