

doi: <https://doi.org/10.15407/knit2016.06.026>

УДК 004.9

В. Н. Маслей¹, Д. К. Мозговой², К. Г. Белоусов¹, В. С. Хорошилов¹, А. С. Бушанская², Н. Г. Галич¹

¹ Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля», Днепро

² Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ ДОБЫЧИ ЯНТАРЯ ПО МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫМ СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ

Приведены результаты обработки и анализа многоспектральных спутниковых снимков среднего пространственного разрешения с целью оценки динамики и последствий незаконной добычи янтаря в Украине. В ходе исследований выявлены существенные повреждения почвенного покрова на территории лесных массивов и полей в результате интенсивной многолетней добычи янтаря на выбранной территории мониторинга.

Ключевые слова: экологический мониторинг, добыча янтаря, спутниковые снимки, обработка изображений, преобразование главных компонентов, повреждения почвы.

Введение. Янтарь в Украине залегает на небольшой глубине, при этом доля камней ювелирного качества составляет 25 %, тогда как в Польше и России — 10...15 % [2]. В Волынской, Житомирской и Ровенской областях налажена незаконная добыча янтаря, из-за которой наносится непоправимый вред природе. Например, в Олевском районе Житомирской области вследствие незаконной добычи янтаря пострадали сотни гектаров земли и лесов (примеры пострадавших территорий приведены на рис. 1 и 2).

Для обширных лесных территорий, пострадавших от незаконной добычи янтаря, наиболее эффективным является мониторинг с использованием спутников ДЗЗ среднего и высокого пространственного разрешения [1, 12]. Современные спутники ДЗЗ позволяют получать оперативную и достоверную информацию о состоянии наземных объектов, рассредоточенных на больших территориях, в том числе в труднодо-

ступных местах, что весьма трудоемко и дорого при наземных обследованиях [3].

Постановка проблемы. Вопросам спутникового мониторинга незаконной добычи янтаря в Украине в последние годы уделяется достаточно много внимания [7—11], что обусловлено огромными масштабами и тяжелыми экологическими последствиями такой деятельности. Несмотря на актуальность данной тематики и достаточно подробное описание методов наземных и дистанционных исследований, их практическое применение весьма ограничено, особенно на региональном и локальном уровнях. Одним из основных сдерживающих факторов здесь, по-видимому, является высокая стоимость требуемого программно-технического и информационного обеспечения. Приведенные в большинстве публикаций методики предполагают использование дорогостоящего программного обеспечения и измерительного оборудования, а также закупки спутниковых снимков высокого пространственного разрешения, стоимость которых может составлять десятки тысяч долларов,

© В. Н. МАСЛЕЙ, Д. К. МОЗГОВОЙ, К. Г. БЕЛОУСОВ,
В. С. ХОРОШИЛОВ, А. С. БУШАНСКАЯ, Н. Г. ГАЛИЧ, 2016

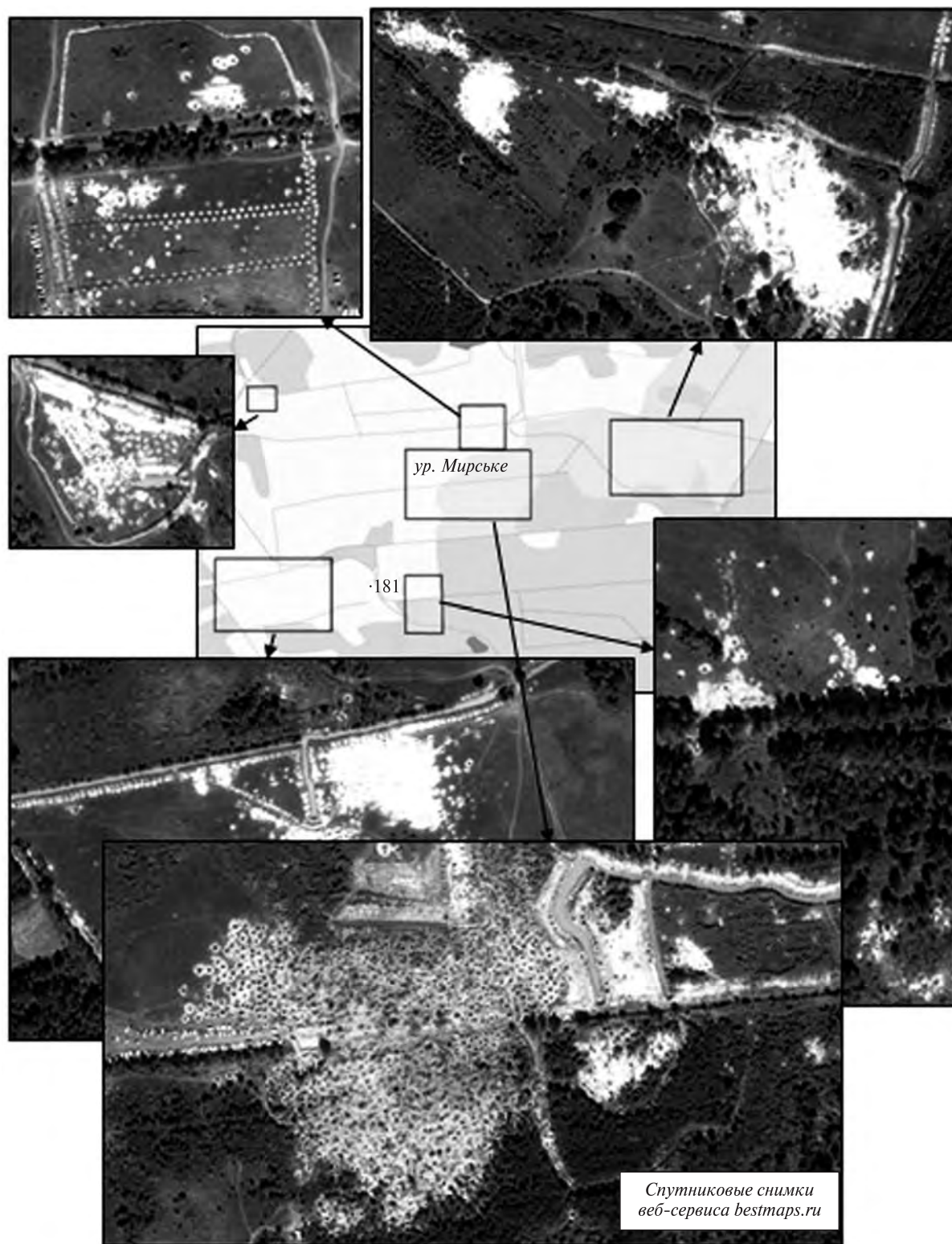


Рис. 1. Последствия незаконной добычи янтаря в Олевском районе Житомирской области (ур. Мирское)



Рис. 2. Последствия незаконной добычи янтаря в Олевском районе Житомирской области (ур. Угольца)

что для большинства потенциальных пользователей неприемлемо. Поэтому остается актуальной задача разработки методики спутникового мониторинга последствий незаконной добычи янтаря, доступной массовым пользователям и ориентированной на использование бесплатного программного обеспечения и спутниковых снимков, доступных в интернете.

Цель исследований — разработка методики спутникового мониторинга последствий незаконной добычи янтаря с использованием спутниковых снимков, доступных в интернете. Основные задачи спутникового мониторинга:

- обнаружение территорий незаконной добычи янтаря, определение границ и площадей пострадавших территорий;

- выявление нарушений правил легальной добычи янтаря (нарушение границ разработок и невыполнение мероприятий по восстановлению почвенного покрова на территории добычи);

- анализ последствий незаконной добычи янтаря, мониторинг динамики и характера изменений почвы, растительности и водоемов на пострадавших участках.

Исходные данные для исследований. Территория наблюдений: Олевский район Житомирской области и Владимирецкий район Ровенской области.

Основные требования к спутниковым снимкам, используемым для мониторинга последствий незаконной добычи янтаря:

- снимки должны быть получены в один и тот же сезон;

- съемка должна быть произведена однотипными съемочными системами (автоматизированное сравнение снимков наиболее достоверно при условии соответствия спектральных диапазонов используемых съемочных систем);

- снимки должны быть одинакового или близкого разрешения, иначе снимки будут содержать различную информацию об объектах.

Для обзорного спутникового мониторинга последствий незаконной добычи янтаря возможно использовать доступные снимки среднего разрешения со спутников «Ландсат-7», «Ландсат-8» [4, 5], Terra (прибор ASTER), Sentinel-2, а также архивные данные со спутников SPOT-1,

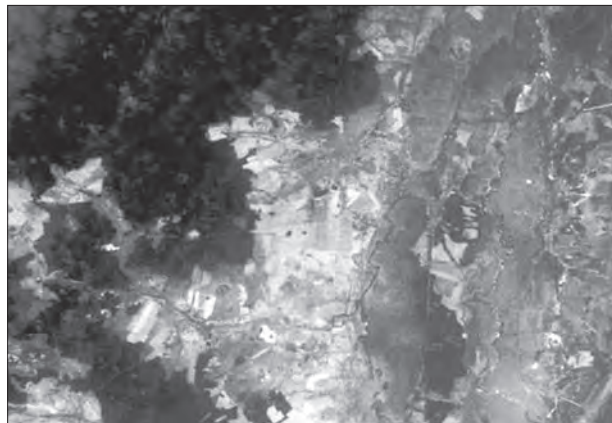


Рис. 3. Снимок заданного района со спутника «Ландсат-7» (2002 г.)



Рис. 4. Снимок заданного района со спутника «Ландсат-8» (2015 г.)

ЕО-1, «Січ-2». Для детального мониторинга возможно использовать снимки со спутников субметрового разрешения, а также данные аэрофотосъемки.

Методика исследований. Спутниковый мониторинг последствий незаконной добычи янтаря для выбранного участка наблюдений проводился в два этапа:

- обзорный мониторинг по снимкам среднего пространственного разрешения;

- детальный мониторинг по снимкам высокого пространственного разрешения.

В данной работе для обзорного мониторинга были использованы мультиспектральные сним-

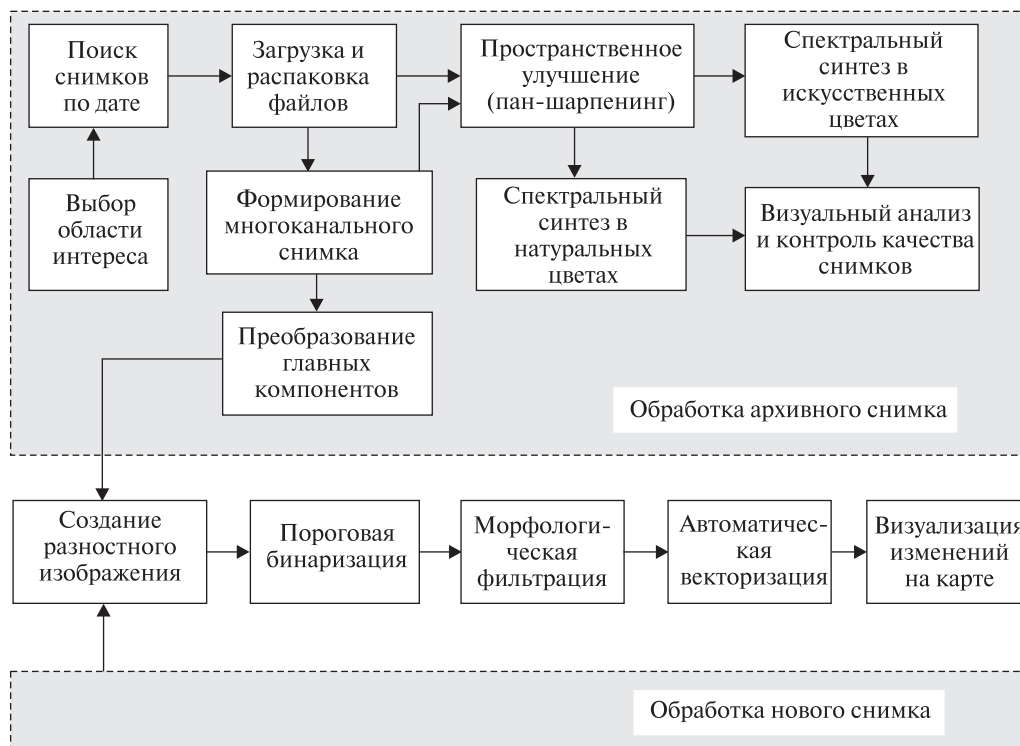


Рис. 5. Основные этапы автоматизированной обработки снимков среднего пространственного разрешения (обзорный мониторинг)

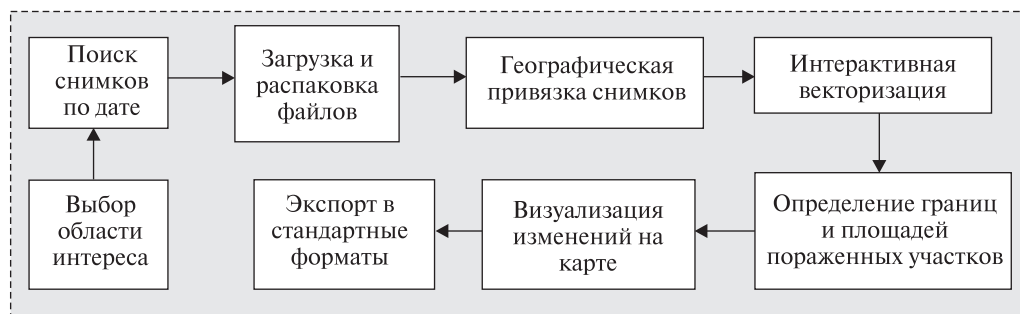


Рис. 6. Основные этапы интерактивной обработки снимков высокого пространственного разрешения (детальный мониторинг)

ки заданных участков со спутников «Ландсат-7» (съёмочный прибор ETM+) за 2002 г. (рис. 3) и «Ландсат-8» (съёмочный прибор OLI) за 2015 г. (рис. 4).

Для обработки спутниковых снимков можно использовать различные бесплатные программные пакеты (например QGIS, SNAP, GRASS, Orfeo toolbox, ScanMagic и др.), которые в насто-

ящее время разработаны под наиболее распространенные современные операционные системы Windows и Unix (включая Linux и MacOS).

Для детального мониторинга были использованы снимки субметрового разрешения с сайта bestmaps.ru, использующего данные геоинформационных веб-сервисов OSM, Google, Bing, Here, Yandex и др. (см. рис. 1 и 2).

Основные этапы автоматизированной обработки снимков среднего пространственного разрешения (рис. 5):

- подготовительные операции (выбор области интереса, поиск снимка по дате, загрузка и распаковка файлов, формирование многоканального снимка);

- спектральный синтез в натуральных цветах и в искусственных цветах с использованием каналов инфракрасного диапазона и контроль качества снимка;

- понижение размерности многоспектральных данных с помощью преобразования главных компонент;

- создание разностного изображения для первых главных компонент двух разновременных снимков заданной территории;

- пороговая бинаризация разностного изображения;

- морфологическая фильтрация бинарного изображения;

- автоматическая векторизация отфильтрованного изображения;

- визуализация изменений на карте и предварительная оценка изменений.

Преобразование главных компонент (РСА — Principal Component Analysis) достаточно широко используется при обработке данных ДЗЗ и позволяет аппроксимировать многоканальные снимки изображениями с меньшим количеством каналов (в данном случае одноканальным).

Основные этапы интерактивной обработки снимков высокого пространственного разрешения (рис. 6):

- выбор области интереса с учетом результатов обзорного мониторинга;

- поиск снимков, загрузка и склейка тайлов;

- географическая привязка снимков;

- интерактивная векторизация территорий незаконной добычи янтаря;

- определение границ и площадей пораженных участков;

- визуализация изменений на карте и экспорт в стандартные форматы.

Результаты исследований. На рис. 7 показаны результаты обнаружения изменений на территории Владимирецкого района Ровенской области



Рис. 7. Обнаружение изменений на территории мониторинга по снимкам со спутников «Ландсат-7» и «Ландсат-8» (Владимирецкий район Ровенской области, участок № 1): а — фрагмент снимка заданного района со спутника «Ландсат-7» (первый главный компонент), б — фрагмент снимка заданного района со спутника «Ландсат-8» (первый главный компонент), в — выявленные изменения (выделены места возможных последствий незаконной добычи янтаря)

по снимкам со спутников «Ландсат-7» и «Ландсат-8» (участок № 1).

На рис. 8 показаны результаты обнаружения изменений на территории Владимирецкого района Ровенской области по снимкам со спутников «Ландсат-7» и «Ландсат-8» (участок № 2).

По данным спутников только на территориях мониторинга площадь участков, пострадавших

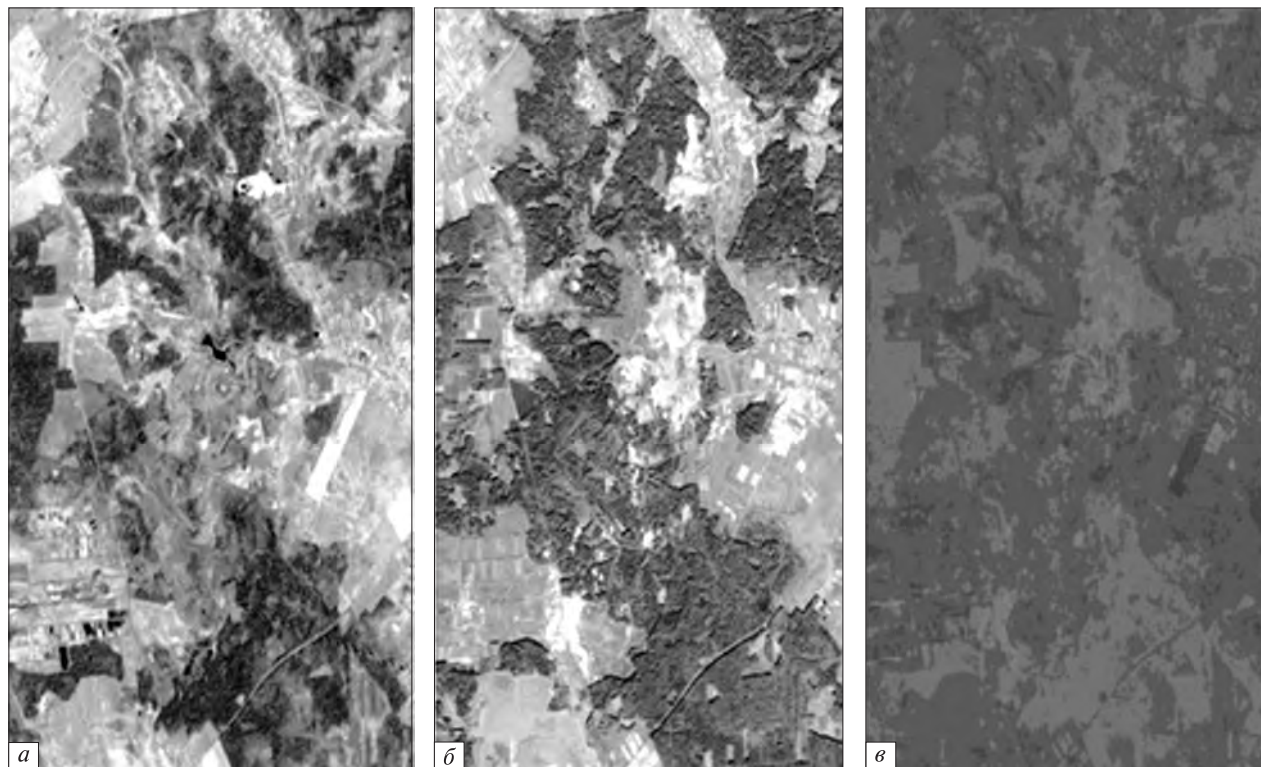


Рис. 8. Обнаружение изменений на территории мониторинга по снимкам со спутников «Ландсат-7» и «Ландсат-8» (Владимирецкий район Ровенской области, участок № 2): *а* — фрагмент снимка заданного района со спутника «Ландсат-7» (первый главный компонент), *б* — фрагмент снимка заданного района со спутника «Ландсат-8» (первый главный компонент), *в* — выявленные изменения (цветом выделены места возможных последствий незаконной добычи янтаря)

от незаконной добычи янтаря, составила более 500 га.

Поскольку у авторов не было возможности проводить наземную заверку с выездом на все обнаруженные участки незаконной добычи янтаря ввиду их рассредоточенности на большой территории, то оценка достоверности полученных результатов была проведена косвенными методами:

— для наиболее крупных участков временных изменений, обнаруженных по данным со спутников «Ландсат-7» и «Ландсат-8», был выполнен сравнительный анализ временных изменений с использованием бесплатных снимков, сделанных в тот же период с других спутников среднего разрешения (Terra /ASTER и Sentinel-2), доступных в интернете;

— для участков возможных последствий незаконной добычи янтаря, обнаруженных по дан-

ным со спутников «Ландсат-7» и «Ландсат-8», был выполнен визуальный анализ спутниковых снимков субметрового разрешения (рис. 9), доступных на различных геоинформационных веб-сервисах (Google, Bing, Here, Yandex и др.);

— для участков добычи янтаря, подтвержденных по данным субметрового разрешения, были определены границы этих участков и выполнены измерения их площадей с использованием бесплатных геоинформационных приложений Google Earth и SAS Planet (рис. 10);

— были проанализированы многочисленные фото- и видеоматериалы последствий незаконной добычи янтаря на территории Ровенской и Житомирской областей, представленные в периодической печати, в научных изданиях и в интернет-публикациях по данной тематике.

Результаты данного анализа подтвердили достаточно высокую достоверность автоматичес-

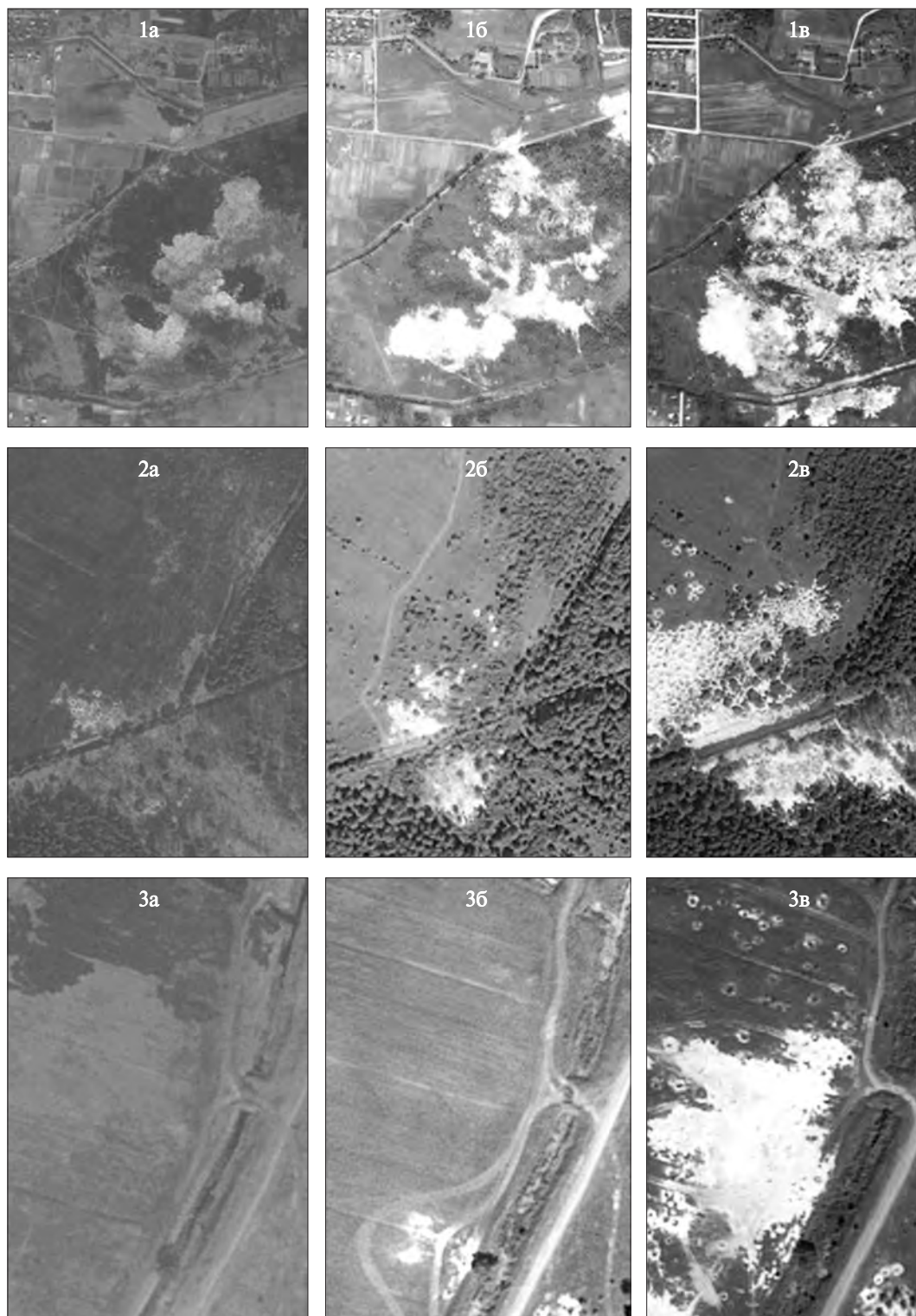


Рис. 9. Анализ динамики незаконной добычи янтаря на трех участках с использованием веб-сервиса bestmaps.ru (Владимирецкий район Ровенской области)

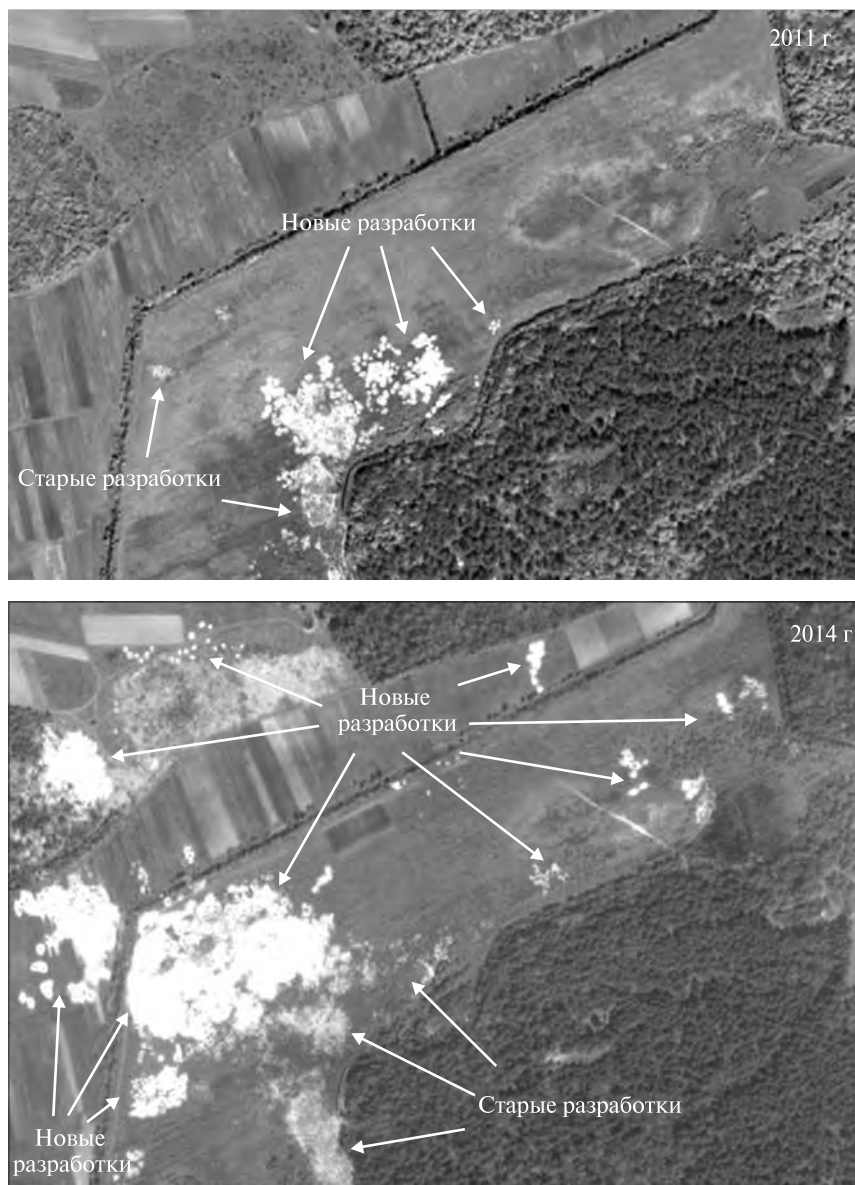


Рис. 10. Детальный анализ последствий незаконной добычи янтаря с использованием геоинформационного приложения SAS Planet

кого определения изменений на земной поверхности по разновременным спутниковым снимкам с использованием РСА, так как основная часть выявленных изменений возникла в результате незаконной добычи янтаря.

Выводы. Предложена методика спутникового мониторинга последствий добычи янтаря с использованием данных ДЗЗ, находящихся в свободном доступе в интернете. По результатам

автоматизированного анализа разновременных спутниковых снимков среднего пространственного разрешения были выявлены значительные территории, пострадавшие от незаконной добычи янтаря. По результатам визуального анализа спутниковых снимков высокого пространственного разрешения были выявлены локальные последствия незаконной добычи янтаря:

— изменения почвенного покрова (участки, на которых поверхностный слой почвы засыпается песком и глиной);

— уничтожение растительности (вырубка леса на участках добычи, истребление травяного покрова);

— изменение режима природных водоемов (выявлены многочисленные искусственные каналы, в которые подается вода из ближайших рек и озер).

До прохождении этапов валидации, аттестации и сертификации данная методика может эксплуатироваться широким кругом пользователей в тестовом режиме.

Предложенная методика позволяет:

— выполнять количественную оценку последствий незаконной добычи янтаря на больших территориях по спутниковым снимкам среднего разрешения («Ландсат-8», Sentinel-2 и др.);

— автоматизировано обнаруживать места массовой добычи янтаря путем комплексного анализа изменений почвенного покрова, растительности и водоемов по спутниковым снимкам среднего разрешения;

— выявлять новые места незаконной добычи янтаря по спутниковым снимкам субметрового разрешения.

Достоинства данной методики:

— возможность использования бесплатных спутниковых снимков, доступных в интернете;

— возможность использования бесплатного программного обеспечения для обработки спутниковых снимков;

— минимальные требования к квалификации оператора (вполне достаточный уровень обычного пользователя ПК);

— возможность реализации данной методики в виде геоинформационного веб-сервиса поиска и обработки данных ДЗЗ с визуализацией результатов на карте [6].

При успешном прохождении этапов валидации, аттестации и сертификации данная методика может быть реализована в виде ведомственного веб-сервиса и использована как государственными службами, так и отдельными пользователями.

1. Макаров А. Л., Мозговой Д. К., Хорошилов В. С. и др. Решение научно-прикладных задач с использованием снимков MODIS и ASTER // Космич. техника. Ракетное вооружение. — 2014. — Вып. 2. — С. 70—76.
2. Михайлова Т. Хроники Амбера: обзор российского рынка янтаря и изделий из него // Навигатор ювелирной торговли. — 2009. — № 5. — С. 14—18.
3. Мозговой Д. К. Обработка спутниковых снимков при решении прикладных задач // Междунар. науч.-практ. форум «Наука и бизнес»: Тез. докл. — Днепрпетровск, 2015. — С. 191—194.
4. Мозговой Д. К., Васильев В. В. Анализ многолетней засухи по данным Landsat-8 // Вісник ДНУ. Ракетно-космічна техніка. — 2016. — Вип. 13, 24, № 4. — С. 79—89.
5. Мозговой Д. К., Васильев В. В. Контроль природных и антропогенных процессов с помощью веб-сервиса Landsat viewer // Междунар. науч.-практ. форум «Наука и бизнес». — Днепр, 2016. — С. 62—67.
6. Мозговой Д. К., Чорненко М. В. Геоинформационные веб-сервисы онлайн обработки спутниковых снимков // Вісник ДНУ. Ракетно-космічна техніка. — 2016. — Вип. 13, 24, № 4. — С. 89—95.
7. Савченко Е. В., Мозговой Д. К. Анализ последствий незаконной добычи янтаря в Украине // XVIII Міжнар. молодіжна наук.-практ. конф. «Людина і Космос»: 36. тез. — Дніпро, 2016. — С. 361.
8. Філіпович В. Є. Оперативний контроль поширення нелегального видобутку бурштину та оцінка збитків заподіяних державі за матеріалами багатозональної космічної зйомки // Екологічна безпека та природокористування. — 2015. — Вип. 20 (4). — С. 71—78.
9. Філіпович В. Є. Супутниковий моніторинг територій незаконного видобутку бурштину [Електронний ресурс] // Укр. журн. дистанційного зондування Землі. — 2015. — 6. — С. 4—7. — Режим доступу: <http://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/52/70>.
10. Філіпович В. Є., Крилова Г. Б., Лубський М. С. Методика пошуку та локалізації ділянок незаконного видобутку бурштину за матеріалами багатозональної космічної зйомки // 14 Міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях»: 36. наук. пр. — 2015. — С. 189—198.
11. Філіпович В. Є., Шевчук Р. М. Модернізація методики і технології оцінки шкоди нанесеної державі внаслідок нелегального видобутку бурштину на основі космічного моніторингу земельних ресурсів (на прикладі Олевського району Житомирської області) // Матер. 15 Міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» (Київ, Пуща-Водиця, 3—6 жовтня 2016 р.)

/ За ред. С. О. Довгого. — Київ: ТОВ «Видавництво «Юстон», 2016. — С. 85—87.

12. Hnatushenko V. V., Hnatushenko V. V., Mozgovoy D. K., Vasiliev V. V. Satellite technology of the forest fires effects monitoring // Sci. Bull. Nat. Mining Univ. — 2016. — N 1. — <http://nvngu.in.ua/index.php/en/component/jdownloads/viewdownload/59/8445>.

Стаття надійшла до редакції 25.08.16

REFERENCES

1. Makarov A. L., Mozgovoy D. K., Khoroshilov V. S. i dr. Resheniye nauchno-prikladnykh zadach s ispol'zovaniyem snimkov MODIS i ASTER. *Kosmich. tekhnika. Raketnoye vooruzheniye*, No. 2, .70—76 (2014).
2. Mikhaylova T. Khroniki Ambra: obzor rossiyskogo rynka yantarya i izdeliy iz nego. *Navigator yuvelirnoy trgovli*, No. 5, 14—18 (2009).
3. Mozgovoy D. K. Obrabotka sputnikovyykh snimkov pri reshenii prikladnykh zadach. *Mezhdunar. nauch.-prakt. forum «Nauka i biznes»: Tez. dokl.*, 191—194 (Dnepropetrovsk, 2015).
4. Mozgovoy D. K., Vasil'yev V. V. Analiz mnogoletney zasukhi po dannym Landsat-8. *Visnik DNU. Raketno-kosmichna tekhnika*, 13, 24 (4), 79—89 (2016).
5. Mozgovoy D. K., Vasil'yev V. V. Kontrol' prirodnykh i antropogennykh protsessov s pomoshch'yu veb-servisa Landsat zritel'ya. *Mezhdunar. nauch.-prakt. forum «Nauka i biznes»*, 62—67 (Dnepro, 2016).
6. Mozgovoy D. K., Chornenko M. V. Geoinformatsionnyye veb-servisy onlayn obrabotki sputnikovyykh snimkov. *Visnik DNU. Raketno-kosmichna tekhnika*, 13, 24 (4), 89—95 (2016).
7. Savchenko Ye. V., Mozgovoy D. K. Analiz posledstviy nezakonnoy dobychi yantarya v Ukraine. *XVIII Mizhnar. molodizhna nauk.-prakt. konf. «Lyudina i Kosmos»: Zb. tez.*, 361 (Dnipro, 2016).
8. Filipovich V. Ê. Operativniy kontrol' poshirennya nelegal'nogo vidobutku burshtinu ta otsinka zbitkiv zapodiyanih derzhavi za materialami bagatozonal'noi kosmichnoi ziomki. *Yekologichna bezpeka ta prirodoznavannya*, 20 (4), 71—78 (2015).
9. Filipovich V. Ê. Suputnikoviy monitoring teritoriy nezakonno vidobutku burshtinu [yelektronniy] // resurs Ukr. zhurn. distantsynogo zonduvannya Zemli. — 2015. — 6. — S. 4—7 — Rezhim dostupu: <http://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/52/70>.
10. Filipovich V. Ê., Krilova G. B., Lubs'kiy M. S. Metodika poshuku ta lokalizatsii dilyanok nezakonno vidobutku burshtinu za materialami bagatozonal'noi kosmichnoi ziomki // 14 Mizhnar. nauk.-prakt. konf. «Suchasni informatsiyni tekhnologii upravlinnya yekologichnoyu bezpekoyu, prirodoznavannyam, zakhodami v nadzvichaynikh situatsiyakh»: *Zb. nauk. pr.*, 189—198 (Kyiv, 2015).
11. Filipovich V. Ê., Shevchuk R. M. Modernizatsiya metodiki i tekhnologii otsinki shkodi nanesenoi derzhavi vnaslidok

nelegal'nogo vidobutku burshtinu na osnovi kosmichnogo monitoringu zemel'nikh resursiv (na prikladi Olevs'kogo rayonu Zhitomir'skoi oblasti). *Mater. 15 Mizhnar. nauk.-prakt. konf. «Suchasni informatsiyni tekhnologii upravlinnya yekologichnoyu bezpekoyu, prirodoznavannyam, zakhodami v nadzvichaynikh situatsiyakh»* / Za red. S. O. Dovgogo, 85—87 (TOV «Vidavnitstvo «Yuston», Kyiv, 2016).

12. Hnatushenko V. V., Hnatushenko V. V., Mozgovoy D. K., Vasiliev V. V. Satellite technology of the forest fires effects monitoring. *Sci. Bull. Nat. Mining Univ.*, No. 1 (2016). <http://nvngu.in.ua/index.php/en/component/jdownloads/viewdownload/59/8445>.

В. М. Маслей¹, Д. К. Мозговий², К. Г. Білоусов¹,
В. С. Хорошилов¹, О. С. Бушанська², М. Г. Галич¹

¹ Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля», Дніпро

² Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара

МЕТОДИКА ОЦІНКИ НАСЛІДКІВ ВИДОБУТКУ БУРШТИНУ ЗА БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИМИ СУПУТНИКОВИМИ ЗНІМКАМИ

Наведено результати обробки та аналізу багатоспектральних супутникових знімків середнього розрізнення з метою оцінки динаміки і наслідків незаконного видобутку бурштину в Україні. В ході досліджень виявлено суттєві пошкодження ґрунту на території лісових масивів і полів в результаті інтенсивного багаторічного видобутку бурштину на обраній території моніторингу.

Ключові слова: екологічний моніторинг, видобуток бурштину, супутникові знімки, обробка зображень, перетворення головних компонентів, пошкодження ґрунту.

V. M. Masley¹, D. K. Mozgovoy², K. G. Bilousov¹,
V. S. Horoshilov¹, O. S. Bushanska², N. G. Galich¹

¹ Yangel Yuzhnoye State Design Office, Dnipro

² Oles Honchar Dnipropetrovsk National University

METHODS OF THE IMPACT EVALUATION OF AMBER MINING BY MULTISPECTRAL SATELLITE IMAGES

We present the results of processing and analysis of middle-resolution multispectral satellite images to assess the dynamics and consequences of illegal amber extraction in Ukraine. The study has revealed a significant damage to the soil cover on the territory of forests and fields as a result of a long-term intense amber mining on the selected monitoring site.

Keywords: environmental monitoring, amber mining, satellite images, image processing, principal component analysis, soil damage.