

О.В. Артемьева¹, А.С. Бакулев², Н.А. Позднякова³, С.В. Тюрин⁴

ДИНАМИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

АННОТАЦИЯ

В связи с увеличением площадей нарушенных земель актуальность разработки способов и методов получения и анализа пространственных данных с целью принятия решений по рациональному природопользованию повышается с каждым годом. Мониторинг природных и антропогенных систем во многом связан со сбором, анализом и визуализацией динамических процессов, поэтому технологии создания динамических карт с отображением происходящих на них процессов и явлений находятся на пике актуальности. Ряд факторов обуславливает необходимость применения динамических геоизображений: во-первых, такого рода изображения – это неразрывная комбинация пространственно-временных связей на определенной территории; во-вторых, это возможность полноценного анализа пространственных изменений с учетом времени; в-третьих, это прогнозирование природных и социально-экономических факторов и явлений, и, наконец, динамическое картографирование открывает возможности для мультимедийной визуализации данных, в несколько раз повышающей восприятие наблюдателем геоизображений с акцентом внимания на конкретных объектах. Данные дистанционного зондирования выступают одним из главных источников составления и обновления тематических динамических карт. Данная статья демонстрирует разработку методики создания рабочих слоев, применяемой в географических информационных системах (ГИС) для составления динамических карт с использованием данных дистанционного зондирования (ДДЗ). Авторы отмечают отличительную особенность методики: она направлена на широкий круг пользователей, не в полной мере обладающих навыками и умениями работы с данными дистанционного зондирования. Такими пользователями могут быть менеджеры любого уровня, чья непосредственная работа не связана с созданием геоизображений, но в чьей компетенции лежит принятие управленческих решений. Еще одним преимуществом описываемой методики является ее реализация в ГИС с открытым кодом (QGIS), а также ее применение не только для одиночных снимков, но и для мозаичного изображения. В статье представлено описание всего пути: от обработки снимков до создания визуальных изображений. В качестве конкретных примеров рабочих полигонов были выбраны нарушенные земли Забайкальского края Российской Федерации. Эти территории столкнулись с большим количеством экологических проблем, вызывающих увеличение площадей нарушенных земель: открытые выработки, рост количества горно-обогатительных комбинатов, деградация сельскохозяйственных и лесных земель за счет антропогенной деятельности и эрозионных процессов, активные сейсмические процессы, селевые движения и лавиноопасность.

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, Университетская наб., д. 7–9, 199034, Санкт-Петербург, Россия; *e-mail*: ovartemyeva@mail.ru

² Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, Университетская наб., д. 7–9, 199034, Санкт-Петербург, Россия; *e-mail*: aleksandrbaikulov@yandex.ru

³ Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, Университетская наб., д. 7–9, 199034, Санкт-Петербург, Россия; *e-mail*: qlnat@mail.ru

⁴ Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, Университетская наб., д. 7–9, 199034, Санкт-Петербург, Россия; *e-mail*: s.tjurin@spbu.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: материалы дистанционного зондирования, ГИС, динамические карты, карты нарушенности земель, мониторинг нарушенных земель

Olga V. Artemeva¹, Aleksandr S. Bakulev², Natalya A. Pozdnyakova³, Sergey V. Tyurin⁴

DYNAMIC MAPPING OF DISTURBED LANDS USING REMOTE SENSING DATA

ABSTRACT

Due to the increase in the areas of disturbed lands, the relevance of developing methods and methods for obtaining and analyzing spatial data in order to make decisions on rational nature management is increasing every year. Monitoring of natural and anthropogenic systems is largely related to the collection, analysis and visualization of dynamic processes, so the technologies for compiling of dynamic maps are at the peak of relevance. A number of factors necessitate the using of dynamic geoimages. Firstly, these images are an inseparable combination of spatial-temporal links on the certain areas. Secondly, it is the possibility of a full-fledged analysis of spatial changes taking into account time. Thirdly, it is the forecasting of natural and socio-economic factors and phenomena. In addition, dynamic mapping opens up opportunities for multimedia data visualization, which increases the observer's perception of geoimages by several times with the focus on specific objects. Remote sensing data is one of the main sources for compiling and updating thematic dynamic maps. This article demonstrates the development of the method for creating working layers used in geographic information systems (GIS) for compiling dynamic maps using remote sensing data. The authors note a distinctive feature of the methodology: it is aimed at a wide range of users who do not fully have the skills and abilities to work with remote sensing data. These are managers of any level, whose direct work is not related to the compiling of geo-images, but whose competence is to make managerial decisions. Another advantage of the described methods is its implementation in an open source GIS (QGIS), as well as its application not only for single images, but also for a mosaic image. The article presents a description of the entire path from image processing to the creation of visual images. Disturbed lands of the Zabaykalsky Krai of the Russian Federation were chosen as a special example of working polygons. These territories have a large number of environmental problems, causing an increase in the areas of disturbed lands: open pits, an increase in the number of mining and processing factories, degradation of agricultural and forest lands due to anthropogenic activities and erosion processes, active seismic processes, mudflows and avalanche hazard.

KEYWORDS: remote sensing data, GIS, dynamic maps, maps of disturbed lands, disturbed land monitoring

¹ Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, Universitetskaya nab., 7–9, 199034, St-Petersburg, Russia; *e-mail:* ovartemyeva@mail.ru

² Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, Universitetskaya nab., 7–9, 199034, St-Petersburg, Russia; *e-mail:* aleksandrbakulev@yandex.ru

³ Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, Universitetskaya nab., 7–9, 199034, St-Petersburg, Russia; *e-mail:* qlnat@mail.ru

⁴ Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, Universitetskaya nab., 7–9, 199034, St-Petersburg, Russia; *e-mail:* s.tjurin@spbu.ru

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы наблюдается стойкая тенденция к увеличению информационных потребностей во всех областях жизни. Запрашиваемой информацией в сферах картографии, геоинформатики и пространственного анализа являются пространственные данные. В настоящее время большое количество научно-исследовательских и управленческих задач направлены на долгосрочное наблюдение изменения геосистем и рациональное использование природных ресурсов. Этот мониторинг во многом связан со сбором, анализом и визуализацией динамических процессов [Harrower et al., 2008]. Динамическое картографирование – это создание и использование геоизображений для исследования динамических геосистем и происходящих в них процессов и явлений [Берлянт, 1997]. Создание динамических геоизображений наиболее актуально при рассмотрении длительного и непрерывного развития разнотипных объектов. Примером динамических геоизображений является картографическая анимация – последовательность кадров, создающих при воспроизведении эффект движения не только в пространстве, но и во времени [Peterson, 1994]. Анимация выступает ключевым инструментом для отображения больших объемов данных, требующих пространственно-временного анализа и моделирования.

Ряд факторов обуславливают актуальность применения динамических геоизображений. Во-первых, это отображение динамики процессов и явлений как неразрывной комбинации пространственно-временных связей [DiBiase et al., 1992]. Во-вторых, это возможность полноценного анализа и пространственно-временного прогнозирования природных и социально-экономических факторов и явлений с учетом времени. И, наконец, динамическое картографирование открывает возможности для мультимедийной визуализации данных, в несколько раз повышающей восприятие наблюдателем геоизображений с акцентом внимания на конкретных объектах.

Для составления картографических изображений динамики лучше всего использовать данные дистанционного зондирования. Космические снимки выступают одним из главных источников составления и обновления тематических динамических карт. Благодаря съемке территории в отдельных спектральных диапазонах, со снимков доступна обширная информация о пространственных объектах. В первую очередь это возможность проведения глобальных съемок территорий с целью природного и антропогенного мониторинга в масштабе всей планеты. Во-вторых, дистанционное зондирование Земли позволяет проводить непрерывные наблюдения исследуемых явлений, а также проводить аналитические расчеты по оценке ряда факторов: степени, скорости и характера нарушений. [Лабутина, Балдина, 2011; Анкин, Минакова, 2015; Зеньков и др., 2018]. В-третьих, это использование многократных повторных съемок, что позволяет вести пространственно-временное прогнозирование и анализ объектов и явлений за счет серии разновременных снимков.

Существуют различные приемы обработки космических снимков. Данное исследование затрагивает разработку методики, применяемой в ГИС для составления динамических карт. Отличительной особенностью ее методики является направленность для широкого круга пользователей, не обладающих в полной мере навыками и умениями обработки космических изображений. Такими пользователями могут быть менеджеры любого уровня, чья непосредственная работа не связана с созданием геоизображений, но кому необходимо на их основе принимать управленческие решения. Еще одним преимуществом описываемой методики является ее реализация в географической информационной системе с открытым кодом QGIS и применение не только для одиночных снимков, но и для мозаичного изображения.

В качестве рабочих полигонов были выбраны нарушенные земли Забайкальского края Российской Федерации. Нарушенные земли – это земли, утратившие свое первона-

чальное назначение и отрицательно влияющие на окружающую среду. Спектральные свойства такой поверхности на участках нарушения земель определяются подстилающей породой и почти всегда характеризуются отсутствием почвенно-растительного покрова. Именно последний факт приводит к положительному дешифровочному свойству – высокой яркости в видимом диапазоне спектра [Bhandari et al., 2012; Rouse et al., 1973; Зеньков и др., 2018].

Нарушенные земли являются площадями, находящимися под государственным контролем. Производится выявление нарушенных земель, установление типа и степени их деградации, оценка причиненного хозяйственно-экологического ущерба, постановление решений об осуществлении мероприятий рекультивации и консервации земель. В связи с увеличением площадей нарушенных земель актуальность получения и обработки пространственных данных на территории Российской Федерации будет повышаться с каждым годом¹.

Земли Забайкальского края были выбраны в связи с большим количеством экологических проблем, вызывающих увеличение площадей нарушенных земель. Минерально-сырьевые богатства региона являются причиной создания большого ряда открытых выработок полезных ископаемых и создания горно-обогатительных комбинатов, предприятий черной и цветной металлургии и иных объектов промышленности. Происходит нарушение сельскохозяйственных и лесных земель за счет антропогенной деятельности и эрозионных процессов, распашки степных песчаных и засоленных почв. Северные регионы Забайкальского края также подвержены активным сейсмическим процессам, селевым движениям и лавиноопасности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Предлагаемая методика картографирования динамических карт нарушенных земель включает в себя следующие общепринятые этапы обработки данных дистанционного зондирования: предварительная обработка, тематическая обработка (оба этапа – работа с ДДЗ) и постобработка (работа с ГИС).

1. Предварительная обработка

На первом этапе осуществлялся сбор рабочих материалов на территории Забайкальского края. Проводилось картографирование динамики нарушенных земель за три периода: 2010, 2015 и 2020 гг. Использовались космические изображения спутников Landsat 7 и 8, полученные с портала U.S.Geological Survey². Для полного покрытия территории Забайкальского края было необходимо выбрать 40 снимков; их пространственное разрешение составляло 30 м. Были использованы данные дистанционного зондирования, полученные в период с мая по сентябрь, временное разрешение – 16 суток. По возможности выбирались снимки с одинаковых полос сканирования, с минимальной облачностью. Обрабатывались определенные каналы: использовалась комбинация ближнего, среднего инфракрасного и красного видимого каналов. Данная комбинация позволила анализировать почвенный покров на основе разности показателя влажности³. Данная комбинация также позволила идентифицировать объекты, недоступные каналам видимого диапазона спектра.

Все снимки импортировались в рабочее окно среды QGIS. Большая часть операций проводилась при помощи плагина Semi-Automatic Classification Plugin. Плагин полуавтома-

¹ Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». Электронный ресурс: <https://gosdoklad-ecology.ru/> (дата обращения 15.02.2022).

² U.S.Geological Survey. Электронный ресурс: <https://earthexplorer.usgs.gov/>(дата обращения 18.02.2022).

³ Interpreting Landsat TM/ETM+ data channel combinations. Электронный ресурс: <https://gis-lab.info/qa/landsat-bandcomb.html#4-5-1> (дата обращения 18.02.2022).

тической классификации (SCP) – это плагин с открытым исходным кодом для QGIS, который позволяет осуществлять контролируемую классификацию изображений дистанционного зондирования, предоставляя инструменты для загрузки, предварительной обработки и постобработки изображений. Общая цель SCP – предоставить набор взаимосвязанных инструментов для обработки растров с целью перевода рабочего процесса в автоматический режим и упрощения классификации земного покрова¹. Данный плагин позволяет проводить обработку космических снимков таких проектов, как ASTER, GOES, Landsat, Sentinel, MODIS.

Предварительная обработка начиналась с радиометрической и атмосферной коррекции снимков [Schovengerdt, 2010] с целью устранения искажений, вызванных съемочным прибором и средой прохождения сигнала, а также для повышения качества визуализации (рис. 1).

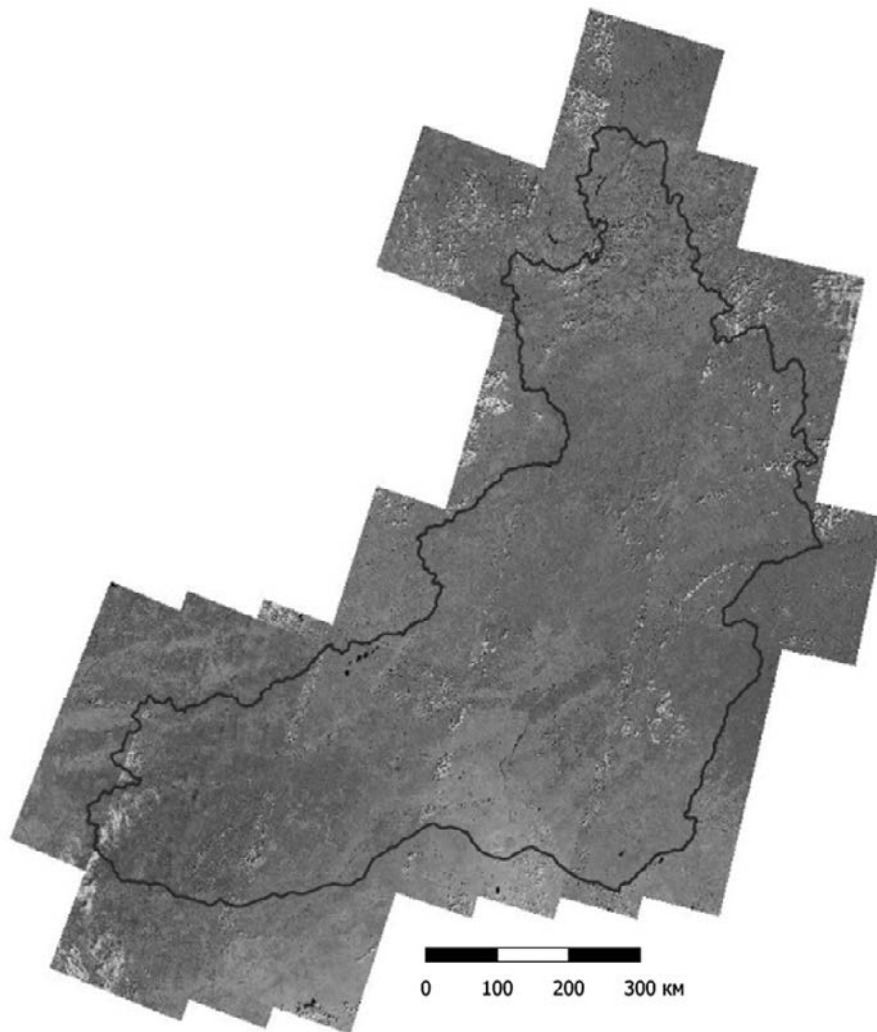


Рис. 1. Мозаика космических снимков Забайкальского края на 2020 год после первичной обработки

Fig. 1. Preprocessed mosaic of the Zabaykalsky Krai space images, 2020

¹ Github. Электронный ресурс: <https://github.com/semiautomaticgit/SemiAutomaticClassificationPlugin> (дата обращения 18.02.2022).

Космические снимки не нуждались в географической привязке, однако часть их была трансформирована в выбранную проекцию из-за нахождения в разных зонах UTM. Следом проводилось создание мозаики снимков и объединение растров в один рабочий слой. Для корректного объединения требовалось выравнивание цветовой палитры снимка. Данная операция проводилась для мозаик каждого из трех каналов снимка (bandlist) с последующей компоновкой в отдельное изображение (bandset) с целью избежать появления черной рамки растра. Конечным этапом являлось обрезание растра по векторной маске границы территории Забайкальского края и получение синтезированного изображения в псевдоцветах (рис. 2).

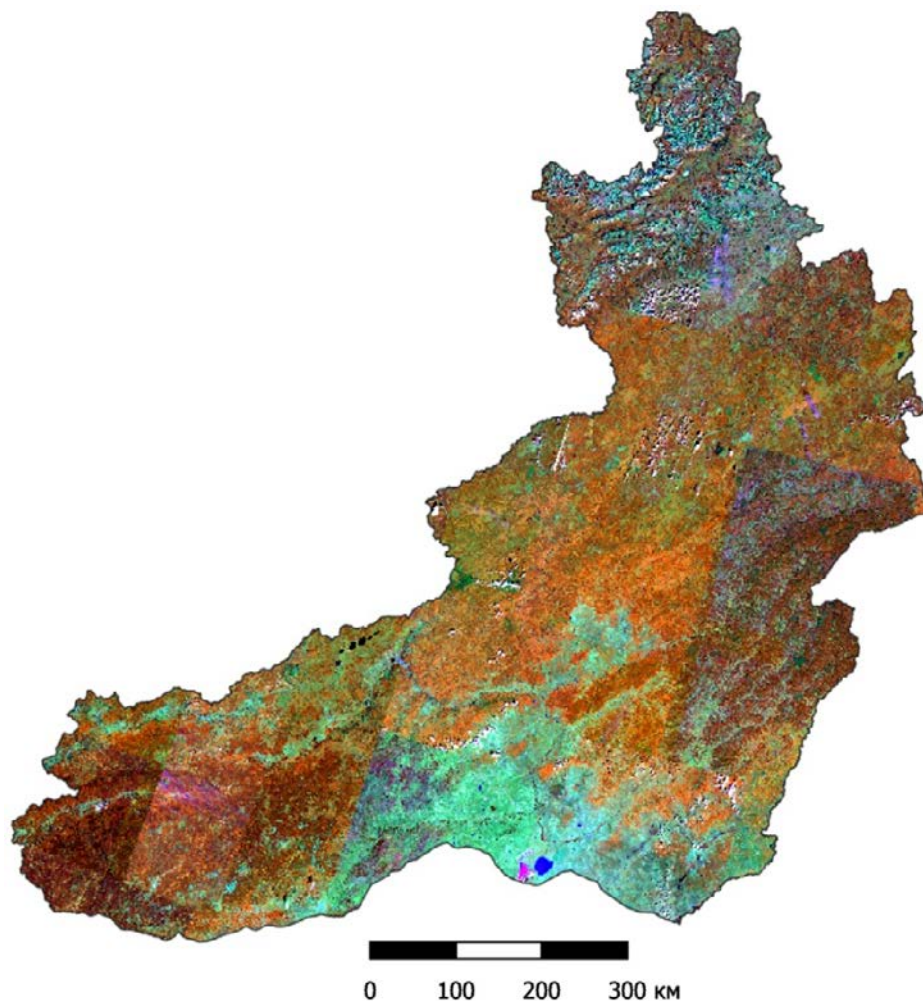


Рис. 2. Синтезированное изображение Забайкальского края, 2015

Fig. 2. Synthesized image Zabaykalsky Krai, 2015

2. Тематическая обработка

Классификация – это обязательная часть тематической обработки изображений. Использование методов неконтролируемой классификации (кластеринга) не отвечало требованиям получения достоверных результатов, в связи с этим использовался метод классификации «с обучением» (*supervised classification*). Данный метод требовал создания тестовых полигонов, которые различаются формой, размером, тоном обрабатываемых природных геосистем. Как правило, для каждого класса формируют от пяти до десяти обучающих

выборки. Этого бывает достаточно, чтобы учесть пространственную и спектральную изменчивость свойств объектов внутри каждого класса [Марчуков, 2009; Lillesand et al., 2015]. В нашем случае по всему району исследования было отобрано 15 видов полигонов с соответствующими признаками и сигнатурой.

Промышленные и техногенные объекты имеют весьма разнообразные дешифровочные признаки, но все же у них можно выделить ряд общих особенностей.

Карьеры отображаются определенной геометрической формы, имеют собственные и падающие тени стенок, со следами разработок, также имеют характерную кольцеобразную структуру. Спектральные характеристики частично могут определять особенности вскрытой породы.

Участки подтопления, как правило, имеют неопределенную геометрическую форму, с извилистым контуром, вкраплениями деревьев, суши, пятнистым рисунком.

Дороги, подъездные пути – отображаются объектами вытянутой геометрической формы (длинная полоса), тон – светлый, почти белый.

Нарушенные земли почти всегда характеризуются отсутствием почвенно-растительного покрова, контурами производственных зданий, сооружений и транспортными коммуникациями, а также высокой яркостью в видимом диапазоне спектра.

Для обработки данных использовался метод Maximum Likelihood, помимо него в Semi-Automatic Classification Plugin были реализованы методы Minimum Distance и Spectral Angle Mapping. Особенностью обработки этого плагина является получение конечного результата в виде растрового изображения. Для дальнейшей работы с этими данными в ГИС потребовалась конвертация полученных классификаций в векторный формат (рис. 3).

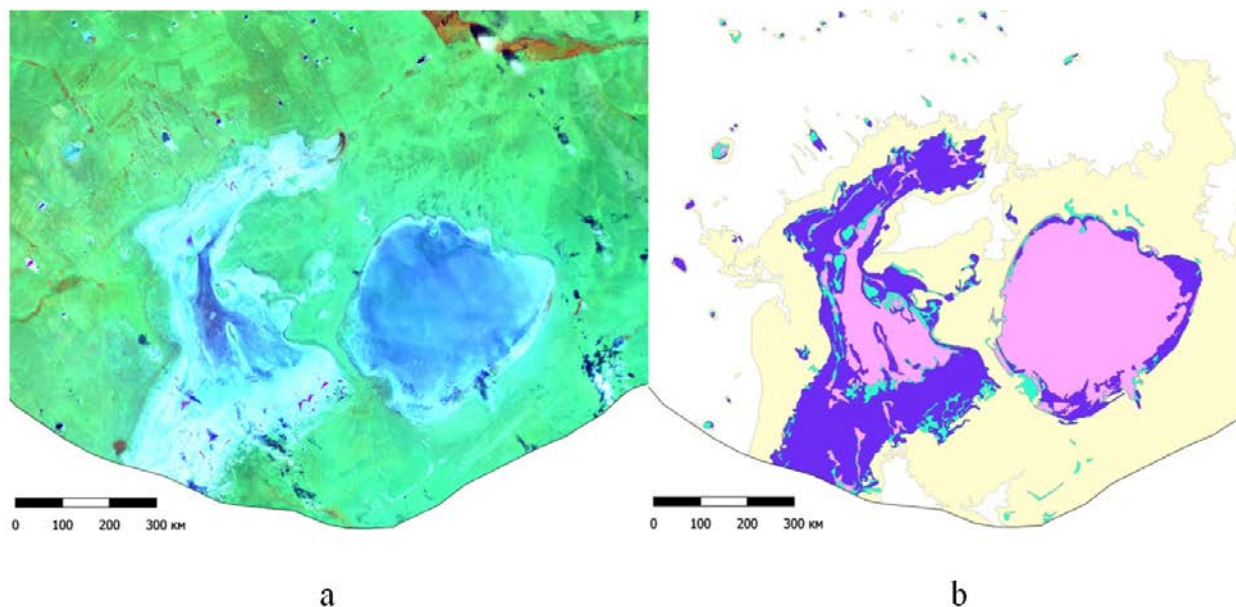


Рис. 3. Фрагмент территории Забайкальского края на 2020 г. (соленые озера Барун-Торей и Зун-Торей): а – после первичной обработки в синтезированных цветах; б – после классификации «с обучением»

Fig. 3. Territory fragment of the Zabaykalsky Krai, 2020 (salt lakes Barun-Torey and Zun-Torey): а – preprocessed synthesized image; б – supervised classification image

3. Постобработка

На этапе постобработки, в ходе отбора и обобщения большого массива векторной информации, были оставлены лишь те полигоны, которые содержали территории нарушенных земель, различимых в масштабе создаваемой динамической карты. Эта полуавтоматическая генерализация векторного слоя осуществлялась за счет встроенных утилит QGIS – «Calculate area» и «Smoothing».

Результатом выполнения всех вышеописанных операций явилось получение векторных слоев нарушенных земель за три года: 2010, 2015 и 2020. Дальнейшее создание карты заключалось в добавлении необходимых векторных слоев, полученных с помощью классификации «с обучением», их компоновке, составлении легенды и создании зарамочного оформления. Существует возможность создания анимации в таких ГИС-системах как QGIS, ArcGIS и ERDAS IMAGINE. Выбор определяется запросами пользователя. Однако мы рекомендуем использовать программу для редактирования видео и изображений Adobe After Effects, т.к. модули создания анимации в ГИС обладают минимальным функционалом. Предлагаемая программа специализируется именно на редактировании видео и динамических изображений, разработки анимации и создания различных визуальных эффектов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Представленная методика формализует процесс подготовки слоев динамической карты на примере обработки данных Landsat, однако с незначительными изменениями она может быть применена при работе с другими снимками, сопоставимыми по характеристикам. Ступени обработки космических снимков, основанные на контролируемой классификации в открытых и коммерческих программных продуктах (ArcGIS, GRASS GIS etc.), похожи, и результаты обработки отличаются незначительно.

Полученные результаты нарушенных земель характеризуются высокой достоверностью. Сравнивая полученные результаты со схемой размещений основных месторождений полезных ископаемых, можно сделать вывод, что практически все месторождения были классифицированы, поскольку являются фактически нарушенными землями. Оставшиеся невыявленными месторождения, скорее всего, относились к закрытому типу добычи, либо прошли рекультивацию (рис. 4).

Помимо нарушенных земель месторождений с помощью классификаций были получены аналогичные земли вблизи промышленных и производственных мероприятий, территории вокруг соленых озер, участки наносов рек (особенно в северной части края). Успешно были выявлены также нарушенные земли вблизи следующих дорог: федеральной трассы А-168 Чита–Забайкальск, М-55 Иркутск–Чита «Байкал», М-58 Чита–Хабаровск «Амур» и участка Байкало–Амурской магистрали (земли вдоль Транссибирской магистрали на территории Забайкальского края не соответствовали критериям нарушенных земель). Также к нарушенным землям относилась большая часть территорий населенных пунктов. Да и сами эти объекты являются нарушенными землями.

Все типы нарушенных земель имеют уверенно опознаваемые территории и четкие дешифровочные признаки и могут быть легко интерпретированы.

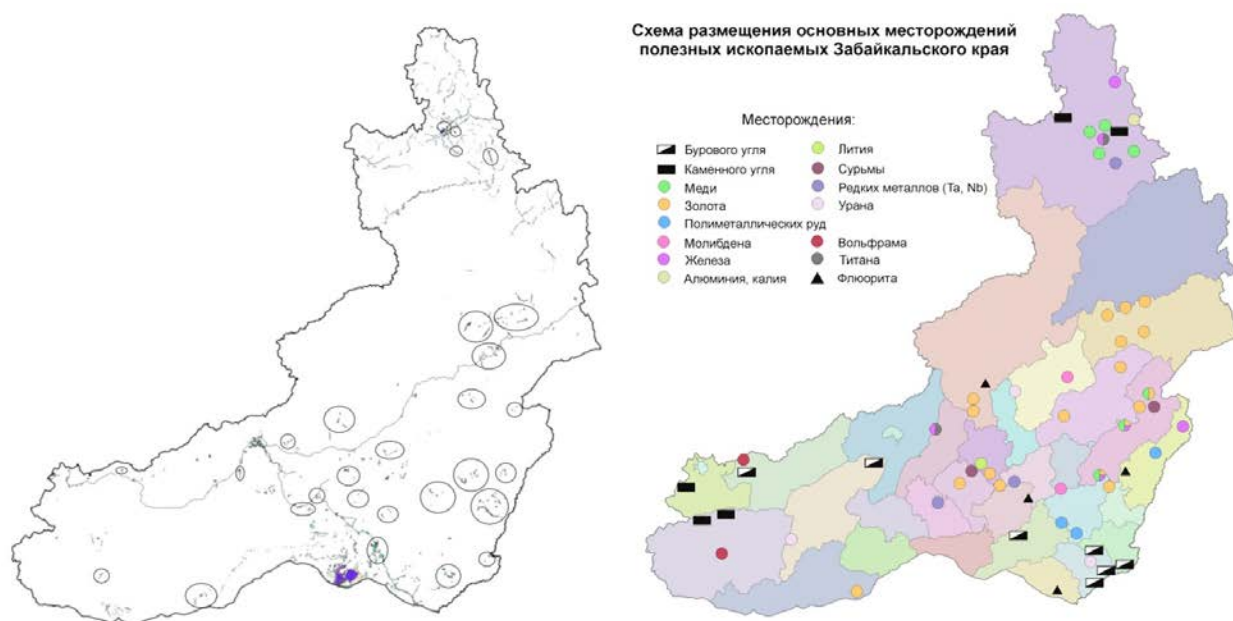


Рис. 4. Схема размещения основных месторождений полезных ископаемых Забайкальского края и сравнение с результатами классификации на 2020 г. Масштаб 1:3000000

Fig. 4. Layout of the main mineral deposits of the Zabaykalsky Krai and comparison with the results of the classification, 2020. 1:3000000

В результате рассмотрения и анализа всех полученных объектов итоговая классификация была разбита по четырем типам нарушений, однако на иных тестовых территориях количество и перечень данных типов могут отличаться в зависимости от географических особенностей и антропогенной освоенности региона:

- земли, подвергшиеся физическому разрушению;
- заболоченные земли;
- засоленные земли;
- опустыненные земли (рис. 5).

Для оценки качества классификации использован визуальный экспертный анализ с привлечением всех известных данных об объектах местности (в частности, при использовании топографических карт, а также карт-схем производственных объединений, в качестве источника по результатам сравнения положения полученных контуров не выявлено отклонений в плановом положении более 100 м).

Выбранное сочетание ближнего, среднего инфракрасных и видимого красного каналов подчеркнуло детали исследуемого объекта, скрытые от человеческого глаза [Дешифрирование аэрокосмических снимков, 2021]. Однако стоит помнить, что в случае исследования другого объекта, синтез каналов будет отличаться от предложенного.

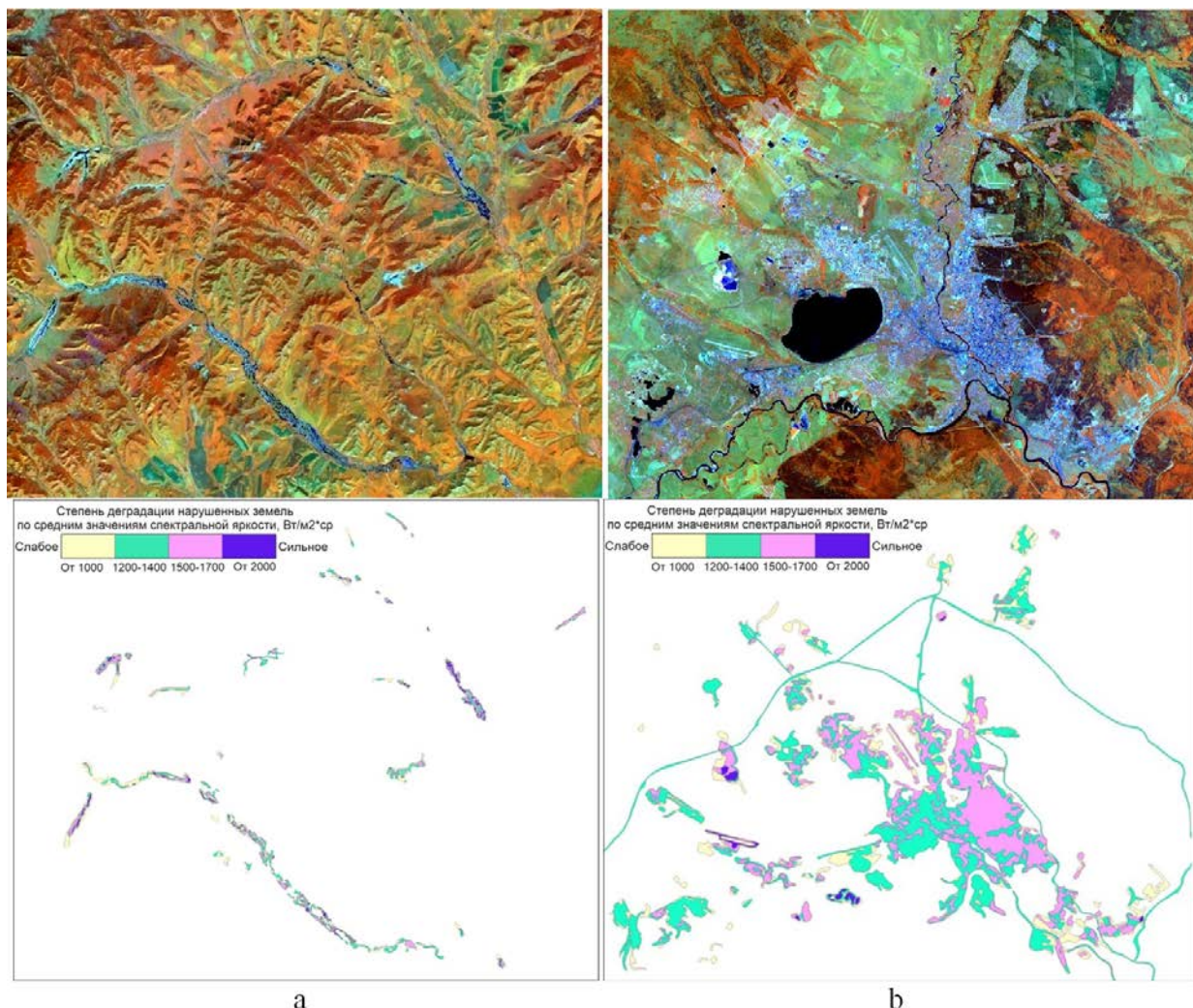


Рис. 5. Фрагмент территории Забайкальского края на 2015 год до и после полуавтоматической классификации: а – притоки Аргуни, Нерчинский хребет; б – пространство Читы с пригородами. Масштаб 1:20000

Fig. 5. Territory fragment of the Zabaykalsky Krai before and after semi-automatic classification, 2015:

a – tributaries of the Argun, the Nerchinskiy ridge; b – Chita area with suburbs. 1:20000

Стоит подчеркнуть особенности методики использования ДДЗ:

1. Высокие требования к рабочему материалу – высокая облачность и несоответствие спектрального диапазона цифровых аэрокосмических снимков значительно влияют на конечный результат. По возможности необходимо использовать аэро- и космические снимки с одного маршрута или полосы сканирования.

2. При проведении классификации «с обучением» при помощи Semi-Automatic Classification Plugin на значительной по площади мозаике снимков желательно в качестве обучаемых выборок использовать сигнатуры и захват пикселей небольшого размера для обеспечения наилучшей производительности обработки.

3. Нарушенные земли являются контрастными объектами на фоне остальных природных и антропогенных объектов. Поэтому при классификации с обучаемыми выборками можно выделять исключительно сигнатуры нарушенных земель (при возникающей задаче такого характера).

4. Если говорить о мозаике снимков, то алгоритм лучшим образом подходит для выявления небольших по площади процессов и явлений.

5. Играют роль высокие затраты на выделение оперативной памяти при обработке поставленной задачи в используемом программном обеспечении QGIS. Для этого существует возможность выставления необходимого объема выделяемой памяти вычислительным устройством для решения операции¹.

6. Необходимо также учитывать «особенность» обработки задач в QGIS, которая выражается в невозможности предварительного просчета затрачиваемых ресурсов перед выполнением задачи.

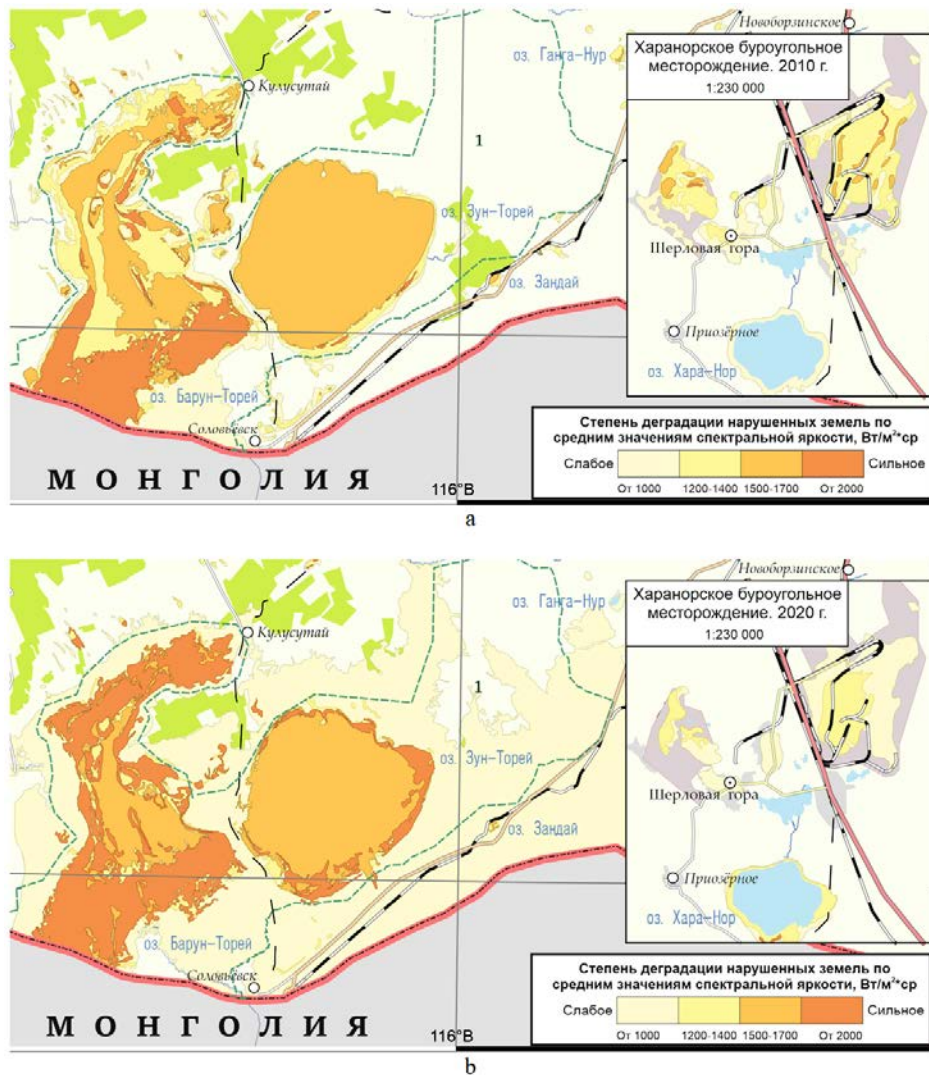


Рис. 6. Фрагмент итоговой карты нарушенности земель (соленые озера Барун-Торей и Зун-Торей): а – 2010 г.; б – 2020 г. Масштаб 1:500000

Fig. 6. Fragment of the final map of disturbed lands (salt lakes Barun-Torey and Zun-Torey): а – 2010; б – 2020. 1:500000

¹ Github. Электронный ресурс: <https://github.com/semiautomaticgit/SemiAutomaticClassificationPlugin> (дата обращения 17.02.2022).

Карты нарушенных земель, составленные за разные временные промежутки, по сути являются кадрами для будущей анимации. В данном исследовании использовалось всего «три кадра», хотя, несомненно, можно использовать гораздо больше для охвата большого временного участка, что ведет к повышению подробности динамики природного объекта и плавности анимации (рис. 6). Существует возможность создания анимации в таких ГИС-системах как QGIS, ArcGIS и ERDAS IMAGINE. Выбор определяется запросами пользователя. Однако рекомендуется использовать программы для редактирования видео и изображений, как открытые, так и коммерческие.

Для доступности широкому кругу пользователей был сделан выбор в пользу открытого сервиса EZGIF – online GIF-maker and image editor.

Ниже приводим перечень главных факторов для создания динамической карты и анимации в любом удобном видео-редакторе.

1. Картографируемый объект, выбранный в качестве динамично-изменяющегося в пространственно-временной системе, должен быть единственным анимированным объектом (слоем). Картографическая основа и зарамочное оформление должны быть статичными объектами. То есть необходимо добиться разделения рабочих слоев карты на статичные и динамические.

2. Необходимо устанавливать оптимальную скорость смены кадров для того, чтобы наблюдатель успевал оценить на карте динамику интересующего объекта. Авторами рекомендуется использовать 0,125 секунды между кадрами.

3. Необходимо добиваться плавности смены кадров для получения эффекта затухания (crossfading).

В добавление к вышесказанному необходимо отметить, что авторы статьи принимали участие и в других проектах по изучению методик дешифрирования космических снимков различных категорий объектов земной поверхности: рельефа, растительности, урбанизированной застройки [Артемова, Бакулев, Данилова, 2020; Artemeva et al., 2019]. Однако разработка алгоритмов создания рабочих слоев именно для динамических карт как более сложных визуальных конструкций проводилась впервые.

ВЫВОДЫ

На основе опыта, накопленного в процессе выполнения работы, мы можем отметить, что с приходом географической визуализации, анимированных и интерактивных карт, основанных на компьютерных и сетевых технологиях, представление времени на картографических моделях стало обычным как для картографов, так и для более широкого круга пользователей. Тем не менее, технологические приемы именно анимационных изображений еще недостаточно отражены в научной литературе. Поэтому любые опыты, связанные с технологиями и методиками динамического картографирования, сейчас особенно актуальны.

Исследования удаленных регионов России (Зауралья), имеющих ресурсный и промышленный потенциал для развития экономики страны, очень важны. Необходимо расширение научного внимания на эти территории, обладающие ценными ресурсами, особыми ландшафтами, специфическим растительным покровом и особой нагрузкой на геосистемы. Административные органы и научные организации в ситуации отсутствия или малого количества специалистов, работающих с ДДЗ, всегда обращают внимание на любые разработки, связанные с методиками анализа подотчетной им территории. Представленная в статье территория – Забайкальский край – пример совпадения интересов промышленников, специалистов-природопользователей и экологов.

Работа с данными дистанционного зондирования в контексте применения их для создания динамических карт также является объектом пристального внимания в связи

с отсутствием эталонов дешифрирования в приложении к будущей картографической анимации. В связи с этим фактом авторы вынуждены акцентировать внимание как на технологической цепочке создания анимированных образов, так и на методике использования ДДЗ.

Основная задача при работе над динамическими изображениями – получение качественных рабочих слоев будущих динамических карт на определенные временные промежутки. Представленная методика направлена на устранение неточностей в понимании процесса обработки космических снимков для целей создания динамических карт и отработку используемых алгоритмов. Данная методика не является единственной и строгой схемой построения динамических изображений по данным дистанционного зондирования. Напротив, отдельные этапы открывают возможность для пользовательского выбора обработки и внесения необходимых дополнений. В перспективе мы надеемся, что данная методика получит распространение среди обширного круга специалистов в области рационального природопользования.

Таким образом, в качестве ключевых выводов по результатам проделанной работы, мы можем констатировать:

- совершенствование методов и приемов визуализации динамических геоизображений продолжает требовать внимания исследователей и разработчиков;
- в отечественных реалиях для удаленных регионов крайне актуальной и важной остается задача создания эталонов дешифрирования, в широком доступе такие данные отсутствуют;
- для обеспечения качества и целостности рабочих слоев динамических изображений необходимо формализовывать и структурировать порядок их создания и подготовки, разрабатывая и применяя соответствующие методики обработки данных; демонстрация подобной разработки, в частности, составила содержание настоящей статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Апкин Р.Н., Минакова Е.А.* Экологический мониторинг. Казань: КГЭУ, 2015. 255 с.
2. *Артемяева О.В., Бакулев А.С., Данилова О.И.* Опыт создания карт динамики городской застройки по материалам данных дистанционного зондирования. Сборник научных трудов «Современные проблемы географии». 2020. Вып. 5. С. 7–12.
3. *Берлянт А.М.* Геоинформационное картографирование. М.: Российская Академия естественных наук, 1997. С. 16–18.
4. Дешифрирование аэрокосмических снимков: учебник [электронное издание сетевого распространения]. 2-е изд., перераб. и доп. Ред. Е.А. Балдина, И.А. Лабутина. М.: «КДУ», «Добросвет», 2021. 269 с. URL: <https://bookonlime.ru/node/6333>. DOI: 10.31453/kdu.ru.978-5-7913-1163-4-2021-269.
5. *Зеньков И.В., Нефедов Б.Н., Кирюшина Е.В., Заяц В.В.* Результаты дистанционного мониторинга экологического состояния нарушенных земель разрезом «Коркинский». Уголь. 2018. № 9. С. 99–101.
6. *Лабутина И.А., Балдина Е.А.* Использование данных дистанционного зондирования для мониторинга экосистем ООПТ. Методическое пособие. М.: WWF России, 2011. 88 с.
7. *Марчуков В.С.* Технология динамического картографирования по данным ДЗЗ. Сборник статей по итогам международной научно-технической конференции, посвященной 230-летию основания МИИГАиК. М.: Изд-во МИИГАиК, 2009. С. 5–9.
8. *Artemeva O., Zareie S., Elhaei Y., Pozdnyakova N., Vasilev N.* Using remote sensing data to create maps of vegetation and relief for natural resource management of a large administrative region. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2019. Vol. XLII-4/W18. P. 103–109.

9. *Bhandari A., Kumar R., Singh G.* Feature Extraction using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): a Case Study of Jabalpur City; Elsevier Ltd. Selection and peer-review under responsibility of the Department of Computer Science & Engineering, National Institute of Technology Rourkela. 2012. DOI: 10.1016/j.protcy.2012.10.074).
10. *DiBiase D., MacEachren A., Krygier J., Reeves C.* Animation and the Role of Map Design in Scientific Visualization. *Cartography and Geographic Information Science*. 1992. Vol. 19. P. 201–214.
11. *Harrower M., Fabrikant S.I.* The role of map animation for geographic visualization. *Geographic Visualization: Concepts, Tools and Applications*. 2008. P. 49–65.
12. *Lillesand T., Kiefer R., Chipman J.* Remote sensing and image interpretation. 7th Ed. 2015. 736 p. ISBN: 987-1-118-34328-9.
13. *Peterson M.* Spatial Visualization through Cartographic Animation: Theory and Practice. *Proceedings of Geographic Information Systems*. 1994. P. 250–258.
14. *Rouse J., Haas R., Shel J., Deering D.* Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In 3rd ERTS. Symposium, NASA SP-351. 1973. I. P. 309–317.
15. *Schovengerdt R.* Remote sensing. Models and methods of image processing. Moscow: Technosphere, 2010. 556 p. ISBN: 978-5-94836-244-1. FB 2 10-52/11.

REFERENCES

1. *Apkin R.N., Minakova E.A.* Environmental monitoring. Kazan: KSEU, 2013. 255 p. (in Russian).
2. *Artemeva O.V., Bakulev A.S., Danilova O.I.* Experience in creating maps of urban development dynamics based on remote sensing data. Collection of scientific works “Modern problems of geography”. 2020. Vol. 5. P. 7–12 (in Russian).
3. *Artemeva O., Zareie S., Elhaei Y., Pozdnyakova N., Vasilev N.* Using remote sensing data to create maps of vegetation and relief for natural resource management of a large administrative region. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2019. Vol. XLII-4/W18. P. 103–109.
4. *Berlyant A.M.* Geoinformation mapping. Moscow: Russian Academy of Natural Sciences, 1997. P. 16–18 (in Russian).
5. *Bhandari A., Kumar R., Singh G.* Feature Extraction using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): a Case Study of Jabalpur City; Elsevier Ltd. Selection and peer-review under responsibility of the Department of Computer Science & Engineering, National Institute of Technology Rourkela. 2012. DOI: 10.1016/j.protcy.2012.10.074).
6. *DiBiase D., MacEachren A., Krygier J., Reeves C.* Animation and the Role of Map Design in Scientific Visualization, *Cartography and Geographic Information Science*. 1992. Vol. 19. P. 201–214.
7. *Harrower M., Fabrikant S.* The role of map animation for geographic visualization, *Geographic Visualization: Concepts, Tools and Applications*. 2008. P. 49–65.
8. Interpretation of aerospace images: textbook, [electronic edition of network distribution] 2nd ed., revised and supplemented. Eds. *E.A. Baldina, I.A. Labutina*. Moscow: “KDU”, “Dobrosvet”, 2021. 269 p. URL: <https://bookonlime.ru/node/6333/> DOI: 10.31453/kdu.ru.978-5-7913-1163-4-2021-269 (in Russian).
9. *Labutina I.A., Baldina E.A.* Using remote sensing data to monitor protected area ecosystems. Moscow: WWF Russia, 2011. 88 p. (in Russian).
10. *Lillesand T., Kiefer R., Chipman J.* Remote sensing and image interpretation. 7th ed. 2015. 736 p. ISBN: 987-1-118-34328-9.
11. *Marchukov V.S.* Dynamic mapping technology based on remote sensing data. Collection of

- articles on the results of the international scientific and technical conference dedicated to the 230th anniversary of the founding of MIIGAiK. Moscow: Publishing house MIIGAiK, 2009. P. 5–9 (in Russian).
12. *Peterson M.* Spatial Visualization through Cartographic Animation: Theory and Practice. Proceedings of Geographic Information Systems. 1994. P. 250–258.
 13. *Rouse J., Haas R., Shell J., Deering D.* Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In 3rd ERTS, Symposium, NASA SP-351. 1973. I. P. 309–317.
 14. *Schovengerdt R.* Remote sensing. Models and methods of image processing. Moscow: Technosphere, 2010. 556 p. ISBN: 978-5-94836-244-1. FB 2 10-52/11.
 15. *Zenkov I.V., Nefedov B.N., Kiryushin E.V., Zayats V.V.* The results of remote monitoring of the ecological state of disturbed lands by the “Korkinsky” open-pit mine. Coal. 2018. No. 9. P. 99–101 (in Russian).
-